Klima und gestaltung der erdoberfläche in ihren wechselwirk...

Joseph Probst


SIGILLVM · VNIVERSITATIS · CALIFORNIENSIS
FIAT LVX
MDCCCLXVIII
EX LIBRIS



Klima und Gestaltung

der

Erdoberfläche

in ihren Wechselwirkungen

dargestellt von

Dr. J. Probst.

Stuttgart.
E. Schweizerbart'sche Verlagshandlung (E. Koch).
1887.

K. Hofbuchdruckerei Zu Guttenberg (Carl Grüninger) in Stuttgart.

Inhaltsverzeichnis.



I. Abteilung.

Klimatische Zustände der geologischen Formationen.

II. Abteilung.

Modifikationen und Wechselbeziehungen der klimatischen Entwickelung zu der Gestaltung der Erdoberfläche.

Verzeichnis der Tabellen.

Vorwort.*

Seit mehr als drei Dezennien hat sich der Verfasser bemüht, die von ihm bewohnte Gegend (das württembergische Oberschwaben) geologisch und paläontologisch genauer zu untersuchen. Seine Bemühungen galten zunächst der dortigen Molasseformation. Die gleichfalls vorhandene und weit verbreitete quartäre Formation empfand ich zunächst nur nach ihrer lästigen, hemmenden Seite, sofern dieselbe durch ihre mächtigen Kies- und Lehmlager die tertiäre Unterlage verdeckt und mehr durch ihre Armut an Petrefakten sich auszeichnet, als durch Reichtum.

Bald aber machte ich auch genauere Bekanntschaft mit den erratischen Blöcken und gekritzten Steinen, die ganz geeignet sind, über den klimatischen Charakter dieser Formation handgreiflichen Aufschluss zu geben und suchte dieselbe in ihrer Ausdehnung über die Gegend hin zu verfolgen.

Überall der gleiche gewaltige Kontrast zwischen der Tertiärzeit und der Quartärzeit! Dort Zimt- und Kampferbäume, oder an anderen Orten Fischgeschlechter, die zunächst an die des Mittelmeers und Roten Meers sich anschliessen, und wenige Meter darüber — die Blöcke eines Gletschers, der aus den Alpen sich herauswälzte und über die ganze Gegend in gewaltigen Massen hinlagerte, in dessen Nähe das Alpenmurmeltier und der Halsbandlemming mit Rentier und anderen nordischen Tieren sich wohl fühlten.

Dass sich mir unter solcher Beschäftigung die Frage nach den Ursachen der Eiszeit, nach der Wandlung der klimatischen Verhältnisse überhaupt, dringend nahe legen musste, bedarf keiner näheren Erklärung.

---

* Geschrieben 1883 zu der Abhandlung: Natürliche Warmwasserheizung als Prinzip der klimatischen Zustände der geologischen Formationen (Abh. der SENCKENBERG'schen naturforschenden Gesellschaft in Frankfurt a. M. 1884, S. 277).

Eine Hauptfrage drängte sich zunächst auf: was ist die Ursache des massenhaften Andrangs des Eises in solchen Gegenden, die sich unmittelbar zuvor eines so warmen Klimas erfreuten und auch jetzt wieder ein gemässigtes Klima haben?

Mir legte sich der Gedanke nahe, dass da die Gletscher der Eiszeit, wie die rezenten, sich an das Hochgebirge anlehnen und dort ihre Reservoire haben, eine lange Ansammlung des Schnees in den Gebirgen mit nachheriger Entladung desselben in die Niederung und Abschmelzung daselbst das ausserordentliche Phänomen der „Eiszeit“ am ungezwungensten erklären könne.

Aber gerade diesen Gesichtspunkt, so nahe er sich mir legte, fand ich in der Litteratur nicht vertreten; die diesbezüglichen Hypothesen ergingen sich meist in sehr entfernt liegenden Gebieten.

Sartorius von Waltershausen nimmt zwar die Gebirge zum Ausgangspunkt der grossartigen Gletscher der Eiszeit, allein sein Prinzip ist doch ein anderes, nicht eine Ansammlung der Eismassen in dem noch unzerstückelten Gebirge, sondern er postuliert eine viel gewaltigere Höhe der Gebirge in der Quartärzeit, um die grossen Gletscher hervorzubringen und ein nachheriges Niedersinken derselben, um die Gletscher auf das heutige Mass zurückgehen zu lassen.

Der Verfasser sprach seinen eigenen Gedankengang in den Hauptzügen zuerst aus in den Württ. naturw. Jahresheften 1874, S. 81 und suchte denselben näher zu begründen daselbst in einer Abhandlung des Jahrgangs 1875, S. 85—149.

Die Eiszeit selbst ist aber nur ein vereinzeltes Rätsel; das Klima der alten Perioden mit ihrer auffallenden Wärme und Gleichförmigkeit unter allen Breitegraden, dann das stufenweise Auftreten der klimatischen Zonen, das durch Prof. Dr. Heer in Zürich auf Grund seiner Untersuchungen der arktischen fossilen Pflanzen festgestellt wurde; — das ist eine Reihe von Rätseln und ungelösten Fragen, die im Zusammenhang betrachtet werden müssen.

Mehrere Ansichten hatten in den letzten Jahrzehnten die Oberhand gewonnen und wurden wieder verlassen und verdrängt. Anfänglich beruhigte man sich in betreff des Klimas der alten Periode bei dem Einfluss der inneren Erdwärme. Es wird unbestreitbar das Verdienst von Sartorius sein, dass diese zwar bequeme aber unhaltbare Annahme verlassen wurde, da er nachwies, dass die Gesetze der Wärmetheorie einen derartigen Einfluss selbst für die ältesten Perioden nicht gestatten und jedenfalls den Effekt auf ein sehr be-

scheidenes Mass reduzieren, für die mittleren und neueren Formationen aber kaum mehr in Betracht kommen können.

Sodann gewann die LYELL'sche Auffassung von dem Einflusse der Verteilung des Festen und Flüssigen auf der Erdoberfläche die Oberhand. Allein die Untersuchungen von SARTORIUS über das reine Seeklima der Gegenwart zeigten deutlich genug, dass selbst bei möglichst vollständiger Eliminierung, nicht bloss anderer Verteilung, des festen Landes, die Temperatur nicht einmal der Tertiärperiode, viel weniger der alten Periode zu erreichen sei. Es ist in dem reinen Seeklima wohl eine ganz charakteristische Annäherung an den Typus der früheren Formationen zu erkennen; allein die Temperaturen selbst, die für das Seeklima berechnet zu haben das Verdienst von SARTORIUS ist, stehen in ihrer ganzen Skala beträchtlich zu weit ab von dem Klima der Tertiärzeit und noch mehr der alten Formationen.

Das wichtige Werk von SARTORIUS (Untersuchungen über die Klimate der Gegenwart und Vergangenheit 1865) scheint einen ausgedehnten Einfluss hauptsächlich nur insofern erlangt zu haben. dass die früheren irrigen Vorstellungen verlassen werden mussten. Der Grund liegt wohl darin, dass auch seine Resultate mit den Forderungen der Paläontologen, wie sie in den letzten Jahrzehnten erst gewonnen wurden, doch zu wenig harmonieren. SARTORIUS, dessen Werk schon um seiner strengen, rechnenden Methode willen die grösste Beachtung verdient, nimmt als Grundlage und Ausgangspunkt für das Klima der geologischen Formationen, das reine Seeklima der Gegenwart, das er für die früheren Perioden zu verstärken sucht. Das ist im Grund, wenn auch SARTORIUS selbst diesen Ausdruck nicht gebraucht, nichts anderes, als das Prinzip der natürlichen Warmwasserheizung. Unter diesem Gesichtspunkt fasst wenigstens der Verfasser die Arbeit von SARTORIUS auf. Wenn es nun auch SARTORIUS nicht gelang, befriedigende Ziffern, die den Anforderungen der Paläontologie entsprechen, zu gewinnen und damit in hohem Grade der Erfolg seines Unternehmens gefährdet wurde, so schien mir doch gerade in diesem Prinzip ein so gesunder Kern vorhanden zu sein, dass ich mich bemühte diesen Grundgedanken festzuhalten und auszubilden und geeignete Wege einzuschlagen, um die Wirkungen der natürlichen Warmwasserheizung für die alten Formationen in einer solchen Weise zu verstärken, dass sie den Anforderungen der Paläontologen genügten.

In einer Abhandlung der Württ. naturw. Jahreshefte (1881,

S. 47—113) wurde die weitere Entwickelung dieses Prinzips von dem Verfasser gegeben und solche Temperaturskalen gewonnen, dass auch der Paläontologie Genüge geleistet wird.

Verschiedene Fragen blieben aber noch unerledigt und wurden vorläufig verschoben, besonders solche, welche die Wechselbeziehungen zwischen klimatischen und tellurischen Erscheinungen und Zuständen betreffen.

In dieser vorliegenden Abhandlung wird nun nicht bloss der Inhalt der früheren Abhandlungen, besonders jener vom Jahre 1881 zu Grund gelegt, obwohl vielfach ergänzt, verbessert und umgearbeitet, sondern auch noch eine II. Abteilung hinzugefügt, welche die hauptsächlichsten Modifikationen der klimatischen Zustände auf der südlichen Hemisphäre beleuchtet; sodann die Erscheinungen der Hebung und Senkung und die Zeit der Erhebung der Kontinente und hohen Gebirge bespricht und mit dem klimatischen Prinzip in Verbindung bringt.

Das Gebiet der Kritik konnte hierbei nicht gänzlich umgangen werden und musste namentlich bei dem Kapitel von dem Klima der südlichen Halbkugel der Adhémar'sche Standpunkt eingehender berücksichtigt werden.

Die Ziffern über Temperaturangaben wurden aus den bewährtesten Quellen entnommen, nämlich aus Dove, Krümmel, Hann und Sartorius für die rezente Periode; von Heer und Graf Saporta für die vergangenen geologischen Perioden.

Wenn der Verfasser sich bestrebt hat, überall, soweit möglich, einen bestimmten und numerischen Ausdruck zu gewinnen und in Anwendung zu bringen, so wird ihm das nicht als übermässige Kühnheit zum Vorwurf gereichen. Vage Behauptungen und Vorstellungen sind überall, so auch auf diesem Gebiete weit verbreitet, aber nirgends wird durch sie ein Ziel erreicht oder auch nur ein schwacher Fortschritt errungen. Es gibt kein anderes Mittel, um von dem Irrtum sich loszumachen und der Wahrheit, wenn auch nur um einen Schritt, näher zu kommen, als das Streben nach möglichster Bestimmtheit sowohl des Gedankens als des Ausdruckes und ebendeshalb der Kontrolle durch jene numerischen Werte, welche durch die Erfahrung und Beobachtung gewonnen worden sind.

Der Verfasser.

Vorwort.

Die vorliegende Schrift ist ihrem wesentlichen Inhalt nach eine Zusammenfassung einer Reihe von Abhandlungen, welche von dem Verf. teils in den Württ. naturwiss. Jahresheften (1874, 1875, 1881), teils in den Abhandlungen der SENCKENBERG'schen naturforschenden Gesellschaft zu Frankfurt (1884, S. 277) veröffentlicht wurden.

Der letzteren Abhandlung mit dem Titel: Natürliche Warmwasserheizung als Prinzip der klimatischen Zustände der geologischen Formationen, welche auch die Grundlage dieser Schrift bildet, wurde von sachkundiger Seite eine recht günstige Beurteilung zu teil (cf. „Humboldt“ 1886, S. 370—375).

In der vorliegenden Schrift wurden jedoch noch verschiedene weitere Ausführungen aufgenommen, wie sie dem neuesten Stand der Litteratur entsprechen; insbesondere wurden die Wechselbeziehungen zwischen Klima und zwischen der Gestaltung der Erdoberfläche einlässlicher behandelt, weshalb auch die Wahl eines Titels, der dem jetzigen Umfang der Untersuchungen sich vollkommener anpasst, gerechtfertigt erschien.

Ferner wird hier darauf hinzuweisen sein, dass der Petersburger Meteorolog Prof. WOEIKOF im Jahre 1887 ein Werk über die Klimate der Erde veröffentlichte und in die deutsche Ausgabe desselben auch einige Kapitel aufnahm, die sich nicht bloss auf die gegenwärtig bestehenden klimatischen Zustände der Erde beziehen, sondern auch über die sogenannte Eiszeit und ihre Ursachen sich verbreiten und zwar in einer Weise, die mit den von dem Verf. schon vor einer Reihe von Jahren in Anwendung gebrachten und veröffentlichten Grundanschauungen in ganz erfreulicher Weise übereinstimmt.

Der Verf. hat sich vollständig überzeugt, dass WOEIKOF ganz selbständig zu seiner Auffassung gelangt ist und es kann ihm nur zur Freude und zur Beruhigung dienen, dass eine so hervorragende

Kraft zu den gleichen Resultaten gelangt ist, obwohl die Ausgangspunkte selbst verschieden sind. Woeikof geht von der meteorologisch-physikalischen Grundlage aus, während dem Verf. die paläontologisch-klimatologische Seite zum Ausgangspunkt diente. In einem Anhang wurde deshalb auch noch ein Vortrag aufgenommen, den der Verf. bei einer anderen Gelegenheit zu halten Veranlassung hatte und in welchem die Übereinstimmung der Resultate und Prinzipien Woeikof's mit jenen, die der Verf. in seinen eigenen Publikationen eruierte, spezieller dargethan wird.

Der Verfasser.

I. Abteilung.

Erklärung der klimatischen Zustände der geologischen Formationen.

Einleitung.

Über den Stand der Frage.

Die Paläontologen stellen auf Grund der Beschaffenheit der Organismen, die in den verschiedenen Schichten vorgefunden werden, ziemlich bestimmte Anforderungen, denen genügt werden muss, wenn die klimatischen Verhältnisse der abgelaufenen geologischen Perioden erklärt werden wollen. Wir fassen hauptsächlich die Anforderungen ins Auge, wie sie von Professor Heer[1] und Graf Saporta[2] in guter Übereinstimmung untereinander gestellt werden.

Die silurische und devonische Formation lassen aus ihren Organismen auf ein unter allen Breitegraden sehr warmes und überraschend gleichförmiges Klima schliessen. In neuester Zeit wurde die silurische Formation im Grinnell-Land (79°—82° n. B.) entdeckt und lieferte dort ca. 60 Arten von Tieren, welche mit der gleichzeitigen Fauna auf den britischen Inseln und noch mehr mit Arten von Nordamerika übereinstimmen. (Heer: Flora fossilis arctica, Band V, S. 17.) Sodann zu Anfang der Steinkohlenzeit war die Büreninsel (74° 30′ n. B.) und Spitzbergen (78°) mit einer Vegetation bekleidet, welche fast in allen Arten mit derjenigen übereinstimmt, die damals im südlichen Irland, Deutschland und in den Vogesen zu Hause war, so dass kaum ein Zweifel besteht, dass vom 45.° bis 78.° der nördlichen Breite dasselbe Klima herrschte. (Heer, l. c. Band III, S. 28.)

[1] Flora fossilis arctica, Band III, S. 28. 1874.

[2] Le monde des plantes avant l'apparition de l'homme. 1879.

Der unmittelbar darauffolgende Bergkalk schliesst zwar keine Pflanzen ein, aber zahlreiche Meerestiere. Es sind grossenteils dieselben Arten, die aus dem europäischen Bergkalk bekannt sind; ja einige lassen sich bis in die Tropengegenden verfolgen. (Heer III, S. 28.) Im Grinnell-Lande wurde diese Formation unter $79\,^0 34'$ bis $82^0\ 40'$ entdeckt; die eingeschlossenen Organismen kommen mit denen Englands grossenteils überein, selbst die Korallen fehlen nicht. (Heer l. c., Band V, S. 17, 19.)

Die Pflanzen der mittleren Steinkohlenformation in Spitzbergen ($77\frac{1}{2}^0$ n. B.) stimmen gleichfalls zum grossen Teil mit denen überein, welche in Mitteleuropa (Böhmen etc.) aus den gleichen Schichten bekannt sind. (Heer III, S. 28.)

Graf Saporta schätzt die mittlere Temperatur der Steinkohlenzeit auf nicht unter 25^0 C. und nicht über 30^0 C. Heer in der 2. Auflage seiner Urwelt (S. 659) nimmt für die Schweiz 23^0 bis 25^0 C. in Anspruch, um die Steinkohlenflora zu erklären.

Die Trias hat bis jetzt in der arktischen Zone keine Pflanzen geliefert, wohl aber Tierreste (Spitzbergen $78\frac{1}{2}^0$); sie stimmen mit denen der Schweiz etc. aus gleichaltrigen Schichten überein. (Heer III, S. 28.)

Die Juraformation birgt am Kap Boheman im Eisfjord (78^0 $24'$ n. B.) Farne, Koniferen, Cykadeen, die teilweise mit denen des englischen, russischen und südfranzösischen Jura übereinstimmen. Eine Vergleichung mit den Jurapflanzen Indiens ergibt, dass hier wie dort die Farne $40\,^0/_0$ der bis jetzt gefundenen Pflanzenarten bilden, wogegen die Nadelhölzer in Spitzbergen stärker, die Cykadeen aber schwächer vertreten sind. (Heer III, S. 29.)

In der unteren Kreide trägt die Flora Grönlands den Charakter der tropischen und subtropischen Gegenden. (Heer III, S. 29.)

Von Beginn der silurischen Formation bis zum Schlusse der unteren Kreide treten uns somit in der arktischen Zone teils in der Landflora, teils in der Meeresbevölkerung tropische und subtropische Typen entgegen und erst in der obersten Stufe der oberen Kreideformation finden sich deutliche Spuren der abnehmenden Temperatur bei 70^0 n. B. und damit auch eine Ausscheidung der Klimate nach der Breite. (Heer VII, S. 222.)

Das Eocän kommt weniger in Betracht, da in den höchsten Breiten diese Formation noch nicht nachgewiesen ist.

Die miocäne Flora dagegen, die aus allen Breiten bekannt ist, zeigt, dass die arktische Zone eine viel höhere Temperatur for-

dert, als jetzt in derselben herrscht. Aber gegenüber der Kreidezeit ist für Spitzbergen und Grönland unverkennbar eine Abnahme der Temperatur vorhanden. Auch tritt die zonenweise Abstufung des Klimas jetzt bestimmt hervor. Nur unter dem Äquator selbst (Sumatra, Java, Borneo) zeigen die tertiären Pflanzen nach der übereinstimmenden Auffassung von HEER[1], GÖPPERT und GEYLER keinen Unterschied gegenüber den heutzutage dort vorhandenen klimatischen Zuständen..

In dem zuletzt (1883) erschienenen VII. Band der Flora fossilis arctica kommt HEER nochmals auf die klimatischen Zustände der verschiedenen Formationen zurück; um der Wichtigkeit des Gegenstandes willen wird auch dieser Passus auszuheben sein (l. c. S. 226): „Im Unterkarbon bestand auf der Bäreninsel (74° 30′ n. B.) und im Hintergrund des Eisfjords bei 78° n. B. eine Flora, die mit der Unterkarbonflora von Europa in den wichtigsten Arten übereinstimmt und der darauf folgende Bergkalk schliesst in der arktischen Zone dieselben Tierreste ein, wie in Europa; ja einzelne Arten finden sich sogar im Bergkalk der Tropenländer. Der Bergkalk Australiens hat etwa ein Drittel der Arten mit Europa gemeinsam. Zur Zeit der Trias hatten wir in Spitzbergen bei 78½° n. B. riesenhafte Saurier und Meeresmuscheln ähnlich denjenigen, die damals in Europa lebten. Aus dem Braunen Jura kennen wir vom Kap Boheman in Spitzbergen (78° 24′ n. B.) eine Flora, die durch ihre Cykadeen und Koniferen an die gleichzeitige von England sich anschliesst, aber auch mit derjenigen Nordsibiriens von 70⅔° und 71° n. B. übereinkommt. Auch die Juraflora Südsibiriens und des Amurlandes hat denselben klimatischen Charakter und dasselbe gilt auch von der Flora der Rajmahalhügel Indiens. Vom tropischen Asien bis an das Eismeer und nach Spitzbergen sind es die Cykadeen, die Farne und Nadelhölzer, welche die Pflanzendecke bilden und im Meere lebten in Spitzbergen und bei der Prinz-Patrik-Insel (76⅓° n. B.) Ammoniten, wie in den tropischen Gewässern. In der unteren Kreide Grönlands haben wir bei 71° n. B. eine Flora, welche auf ein nasses, heisses Klima und eine mittlere Jahrestemperatur von 21° bis 22° C. schliessen lässt. In der oberen Kreide Grönlands ist in der unteren Abteilung noch keine Abnahme der Temperatur

---

[1] Durch eine neue Sendung von Pflanzen aus dem Tertiär von Sumatra fand HEER die früher schon gewonnene Überzeugung darüber bestätigt. cf. Urwelt etc., 2. Aufl., S. 511, 512.

nachweisbar; diese gibt sich erst in der obersten Kreide, die den Übergang zum Tertiär bildet, durch das Verschwinden der Cykadeen kund. Im Untermiocän ist diese Abnahme der Temperatur deutlich ausgesprochen und für Grönland haben wir bei 70° n. B. die mittlere Jahrestemperatur zu 12° C. zu bestimmen."

Die gesamten Erfahrungen HEER's bis zum Jahre 1883, nachdem eine gewaltige Masse von Material aus den hohen und höchsten Breiten von ihm untersucht worden war, dienten somit dazu, die ersten Eindrücke, welche aus dem Studium der fossilen nordischen Pflanzen gewonnen worden waren, in der Hauptsache ganz zu bestätigen. Nur war HEER mehr und mehr in die Lage versetzt, den Temperaturen von Grönland, Spitzbergen, Grinnell-Land zur miocänen Zeit einige Grade Wärme mehr zuzulegen, als er anfänglich glaubte bemessen zu müssen und die Anfänge der Ausscheidung der klimatischen Zonen von dem Cenoman noch um eine Spanne Zeit weiter zurück, ganz an das Ende der Kreideperiode zu verlegen.

Schon diese Reihenfolge der klimatischen Zustände der geologischen Perioden gibt Rätsel genug auf. Doch sieht man, dass bis hierher eine ruhige langsame Entwickelung stattgefunden haben könne.

Eine befremdende Abänderung aber, welche mit der vorhergehenden und zugleich mit der nachfolgenden (rezenten) Periode kontrastiert, tritt erst mit der quartären Zeit ein, welche schon in ihrem Namen Eiszeit ihren stark abgeänderten klimatischen Charakter kundgibt.

Nur Graf SAPORTA sucht (l. c. S. 121) derselben eine gelindere Seite abzugewinnen, welche auch von HEER und anderen Paläontologen nicht ganz misskannt, aber als interglaziale Zwischenperiode gedeutet wird.

Aus all diesen mannigfaltigen Entwickelungen ging endlich als letztes Glied das heutige gemässigte Klima hervor; gemässigt insofern, als die mittleren Breiten eine nach unseren Anschauungen gemässigte Temperatur besitzen, während die hohen und niedrigen Breiten durch zuvor kaum gekannte starke Unterschiede der Temperatur von einander abstehen.

Fasst man die Anforderungen, die an eine genügende Hypothese gemacht werden können und müssen, zusammen, so wäre zu erklären, beziehungsweise zu begründen:

1) Das in hohem Grade gleichförmige und besonders in den hohen Breiten zugleich warme Klima der ältesten und mittleren Perioden. Eine absolute Gleichförmigkeit aller Breitegrade

ist hiermit jedoch nicht verlangt und eine Differenz von einigen Graden nicht ausgeschlossen, wenn sie nur die Grenzen nicht überschreitet, die auch heutzutage noch in jedem Floren- und Faunengebiet vorkommen.

2) Die schon seit der obersten Kreideformation, deutlicher aber seit der Tertiärformation hervortretende zonenweise Anordnung der Klimate mit allmählich abnehmender Wärme der mittleren und noch mehr der höheren Breiten.

3) Die klimatisch auffallende Umgestaltung zur sogenannten Eiszeit.

4) Die mildere, aber von den vorhergehenden Perioden mehr oder weniger verschiedene klimatische Beschaffenheit der rezenten Periode.

Ob nun zur Erklärung dieser Zustände kosmische oder solare oder tellurische Verhältnisse beigezogen werden wollen, ist zunächst freigestellt, wenn nur die zur Erklärung herbeigezogene Grundlage selbst solid ist und sich an die dermaligen Kenntnisse befriedigend anschliesst. Es ist aber nicht zu verwundern, dass eine grosse Zahl von Hypothesen aufgetaucht ist, um diese verwickelten Zustände zu erklären. Dieselben zu besprechen wird jedoch nicht notwendig sein; denn die Kritik, die hier allerdings ein dankbares Feld findet, hat ihre Schuldigkeit zur Genüge gethan. Überdies können wir auf die Besprechungen verweisen, die von zwei hervorragendeu Männern in neuester Zeit gegeben wurden. Heer widmet dem Gegenstand ein Kapitel in der zweiten Auflage seiner Urwelt der Schweiz (S. 657) und desgleichen Graf Saporta in seiner schon angeführten Schrift (S. 139).

Ebenso können wir, was eine von Whitney (Climatic Changes 1882) in neuester Zeit aufgestellte und von Heim (Gletscherkunde, S. 557) günstig aufgenommene Ansicht betrifft, auf Woeikof's Würdigung derselben verweisen, welcher im 1. Band seines Werkes: Klimate der Erde 1887 (l. c. S. 101—106) diese Ansicht bespricht. Die von Woeikof selbst vertretene Ansicht über die Ursachen der Eiszeit stimmt in allen wesentlichen Punkten mit der von uns aufgestellten überein, was sich im Laufe der weiteren Darstellungen ergeben wird und verweisen wir darüber noch besonders auf den Anhang.

Unsere eigene Ansicht können wir in kurzer Übersicht vorläufig so darstellen. Wir gehen von der Grundanschauung aus, dass die tellurische Entwickelung der Erdoberfläche und die klimatischen

Verhältnisse im innigsten Zusammenhang stehen; sie verhalten sich wie Ursache und Wirkung, oder auch sie stehen in Wechselwirkung mit einander. Die tellurischen Verhältnisse der alten geologischen Perioden waren so beschaffen, dass durch dieselben ein sehr gleichförmiges und zugleich warmes Klima über die ganze Erdoberfläche hin hervorgerufen wurde. (I. Kapitel.)

Zur Zeit der Tertiärformation erst (beziehungsweise am Ende der Kreideformation) war die Entwickelung der tellurischen Verhältnisse allmählich so weit vorgeschritten, dieselben soweit differenziert, dass diese Differenzierung auch in den klimatischen Verhältnissen sich auszudrücken anfing. Das Ende der Tertiärzeit (Pliocän) insbesondere weist in Verbindung mit dem entschiedenen Hervortreten der reif gewordenen Kontinente und ihren Unebenheiten auch ein entsprechend differenziertes Klima auf. (II. Kapitel.) Hierdurch und speziell durch die besondere Qualität der Unebenheiten des Landes (Gebirge) trat als Folgeerscheinung das Klima der quartären Zeit auf. (III. Kapitel.) Diese sogenannte Eiszeit trägt jedoch mehr den Charakter einer vielleicht lange dauernden Übergangszeit an sich, deren spezifische Ursachen im Gang ihrer Entwickelung abgeschwächt und beseitigt wurden. Das Klima der Gegenwart aber (IV. Kapitel) ist das Resultat aller bisherigen Fortschritte und Schwankungen in der Entwickelung der tellurischen Verhältnisse der Oberfläche unseres Planeten.

In den folgenden Kapiteln werden wir suchen, diesen Gedankengang näher zu begründen.

Erstes Kapitel.

Erklärung der klimatischen Verhältnisse der alten geologischen Perioden.

Erster Artikel.

Die Bedeutung des reinen Seeklimas gegenüber dem Normalklima der Gegenwart.

Professor Dove[1] in Berlin hat das Normalklima für die nördliche Halbkugel berechnet. Er erklärt, dass er unter diesem Ausdruck verstehe: „die mittlere Jahrestemperatur des Parallels (auf

[1] Verbreitung der Wärme auf der Oberfläche der Erde. 1852. S. 14.

die Meeresfläche reduziert), somit jene Temperatur, welche der Parallel an allen Punkten zeigen würde, wenn die auf ihm wirklich vorhandene, aber ungleich verteilte Temperatur gleichförmig verteilt wäre."

Anderseits hat SARTORIUS VON WALTERSHAUSEN[1] das reine Seeklima der Gegenwart berechnet. Unter zu Grundlegung von 19 möglichst insularen Stationen auf der nördlichen und südlichen Halbkugel berechnete er (nach der Methode der kleinsten Quadrate) die mittlere Jahrestemperatur der Parallelkreise unter dem Gesichtspunkte, dass die Erdoberfläche gänzlich mit Meer bedeckt sei oder das Land so sehr zurücktrete, dass dasselbe sich klimatisch nicht geltend zu machen vermöge.

In Tabelle I sind die Resultate dieser beiden Auffasssungsweisen zusammengestellt unter Hinzufügung der Differenz des Normalklimas und des reinen Seeklimas der Gegenwart in einer besonderen Kolonne. Diese Tabelle umfasst nur die nördliche Halbkugel, da DOVE das Normalklima der südlichen Halbkugel zu wenig berücksichtigt, so dass seine spärlichen Angaben darüber sich nicht zu einer tabellarischen Vergleichung eignen. Doch hat Professor HANN in Wien ausser dem Seeklima auch das Normalklima der südlichen Hemisphäre untersucht und berechnet, so dass weiter unten (Tabelle II) auch diese Temperaturskalen mitgeteilt werden können. In der II. Abteilung Kapitel I wird übrigens auf die klimatischen Eigentümlichkeiten der Südhemisphäre noch spezieller eingegangen werden unter Benutzung der neuesten Untersuchungen von Prof. HANN. Obwohl nun die klimatischen Zustände der Südhalbkugel nicht unbeträchtlich von jener der Nordhalbkugel sich unterscheiden, so sind doch jene letzteren aus dem Grund von weitaus grösserer Wichtigkeit, weil paläontologische Untersuchungen nur auf der Nordhemisphäre in grossem Umfang ausgeführt wurden, auf der Südhemisphäre aber kaum begonnen haben.

Da beide Autoren ihre Tabellen in Graden nach RÉAUMUR abgefasst haben, so wurde diese Gradeinteilung hier beibehalten.

---

[1] Untersuchungen über die Klimate der Gegenwart und Vorwelt etc. 1865. S. 124.

Tabelle I.

1. Breitegrad der nördl. Halbkugel.	2. Normalklima der Gegenwart nach Dove.	3. Reines Seeklima der Gegenwart nach Sartorius.	4. Differenz zwischen 2 und 3 zu gunsten der Wärme des Seeklimas.
90	— 13°,20 R.	+ 0°,84 R.	+ 14°,04 R.
80	— 11°,20	+ 1°,49	+ 12°,69
70	— 7°,10	+ 3°,36	+ 10°,46
60	— 0°,80	+ 6°,20	+ 7°,00
50	+ 4°,30	+ 9°,68	+ 5°,28
40	+ 10°,90	+ 13°,33	+ 2°,43
30	+ 16°,80	+ 16°,70	— 0°,10
20	+ 20°,20	+ 19°,34	— 0°,86
10	+ 21°,30	+ 20°,89	— 0°,41
0	+ 21°,20	+ 21°,14	— 0°,06

Betrachtet man nun die Ziffern dieser Tabelle, so erkennt man vor allem bei dem Seeklima eine beträchtlich grössere Gleichförmigkeit der Temperatur unter den verschiedenen Breitegraden, als bei dem Normalklima.

Das Normalklima zeigt Differenzen zwischen Äquator und Pol von 34°,40 R.; das reine Seeklima aber nur 20°,30 R. Und doch sind auch bei Berechnung des Normalklimas die gebirgigen Erhebungen des Festlandes durch Rechnung eliminiert und überall die Meeresfläche zu Grund gelegt.

Die andere hervorragende Eigentümlichkeit ist, dass die Ziffern des reinen Seeklimas ganz überwiegend zu gunsten einer grösseren Wärme sich darstellen, die jedoch in verschiedenen Breiten sehr verschieden ist. Besonders in hohen und höchsten Breiten beträgt die höhere Wärme des reinen Seeklimas den gewaltigen Betrag von 13—14° R. gegenüber dem Normalklima. Noch viel schärfer tritt der Unterschied nach beiden Seiten heraus, wenn ein einzelnes Beispiel von extremem Kontinentalklima und extremem Seeklima herausgegriffen wird, und zwar unter gleichen Breitegraden.

Die Faröer (62°,3 n. Br.) haben eine mittlere Jahrestemperatur von + 7°,3 C., der kälteste Monat + 2°,7 C., der wärmste + 12°,3 C., die Differenz 9°,6° C. Dagegen hat Jakutsk in gleicher Breite, aber inmitten von Sibirien, eine mittlere Jahrestemperatur von — 10°,3 C., der kälteste Monat — 43°,0 C., der wärmste + 20°,4 C., die Differenz volle 63°,4 C.! Die mittlere Jahrestemperatur aber stellt sich auf die Faröerinseln um 17°,6 C. höher als

in dem extrem kontinentalen Klima von Jakutsk. Aber selbst in mittleren Breiten wirkt das reine Seeklima noch recht stark zu gunsten der grösseren Wärme. Nur in den Tropen stellt sich die Temperatur des reinen Seeklimas der Gegenwart nicht mehr zu gunsten grösserer Wärme; es findet sogar eine Abkühlung statt, aber dieselbe ist überall so schwach, dass sie nirgends ganz 1° R. erreicht.

Diese Eigentümlichkeiten des reinen Seeklimas lassen sich aus den physikalischen Eigenschaften des Wassers leicht ableiten.

Es ist bekannt, dass das Wasser unter allen Stoffen die grösste spezifische Wärme besitzt, dass dasselbe somit am langsamsten sich erwärmt, aber auch am langsamsten erkaltet. Es wird schon aus diesem Grunde die mittlere Temperatur des reinen Seeklimas eine innerhalb engerer Grenzen schwankende, beträchtlich gleichförmigere sein, als das Normalklima, welches mit Land und Wasser zugleich zu thun hat.

Die höhere Temperatur des Seeklimas aber kann nicht befremden, wenn man bedenkt, dass die Wasser der Meere in beständiger Zirkulation sind und dass bei dieser Zirkulation die wärmeren Wasser wegen ihres grösseren Volumens oben sich halten, während die kälteren Wasserteile sich in die Tiefe senken.

Die obersten Schichten des Wassers, die für die Berührung mit der Atmosphäre und deshalb für die klimatischen Verhältnisse die Ausschlag gebenden sind, sind zugleich die wärmsten. Dove hebt noch einen weiteren Gesichtspunkt hervor, das Herauffördern der Wärme des Meeresgrundes an die Oberfläche durch die Flüssigkeit des Wassers. „Die flüssige Grundlage, sagt er (S. 4), erneuert sich ununterbrochen; denn jede Temperaturerniedrigung an der Oberfläche bringt nicht nur ein Sinken des schwerer gewordenen Wassers in die Tiefe hervor, sondern auch ein Heraufsteigen des wärmeren an seine Stelle. Hierdurch wird der Tiefe des Meeres die Wärme entzogen, welche wir an seiner Grundfläche finden würden, wäre sie ebenso tief unter einer festen Oberfläche gelegen, als sie von der flüssigen Oberfläche abliegt."

Dass unter den Tropen überhaupt bedeutende jährliche Temperaturschwankungen nicht vorkommen, ergibt sich von selbst, weil die Stellung der Sonne zur Erde und die Tageslänge daselbst keine nennenswerten Unterschiede darbieten. Doch ist auch hier das reine Seeklima gleichförmiger, nur dass dasselbe hier nicht zu gunsten grösserer Wärme wirkt. Die hohe spezifische Wärme des Wassers erklärt auch diesen Umstand.

Zu einem beträchtlich abweichenden Resultat führt die Vergleichung des Seeklimas und des Normalklimas auf der südlichen Hemisphäre, welche erst durch die Untersuchungen von HANN in Wien eine festere Grundlage erhalten hat. HANN berechnet (nach der Methode der kleinsten Quadrate) sowohl die Temperaturskala des Seeklimas als des Normalklimas dieser Halbkugel in seiner Abhandlung: Über die Temperatur der südlichen Hemisphäre 1882, S. 21 u. 22 in Graden nach CELSIUS:

Tabelle II.

Breitegrad der südlichen Halbkugel.	Seeklima der südl. Halbkugel nach HANN.	Normalklima der südl. Halbkugel nach HANN.	Differenz zwischen beiden.
Äquator	26° C.	26° C.	—
10°	25°,9	26°	0°,1
20°	23°,4	23°,5	0°,1
30°	18°,9	19°,0	0°,1
40°	13°,0	13°,1	0°,1
50°	6°,5	6°,5	—
60°	0°,3	0°,2	0°,1
70°	— 4°,8	— 4°,9	0°,1
80°	— 8°,2	— 8°,4	0°,2

Hiernach ist auf der südlichen Hemisphäre der Unterschied zwischen beiden Arten von Klimaten soviel wie ganz verwischt. Der Grund dieser auffallenden Erscheinung ist jedoch unschwer einzusehen; er liegt in dem beträchtlichen Überwiegen des Meeres daselbst. Auf der ganzen Erde beträgt die Meeresbedeckung 72 %, das Land 28 %; auf der nördlichen Halbkugel 60 % Meer und 40 % Land; auf der südlichen für sich allein aber 83 % Meer und 17 % Land. Aus diesen Zahlenverhältnissen ergibt sich, dass der Unterschied zwischen beiden Arten von Klimaten auf der südlichen Hemisphäre jedenfalls weniger stark sein wird, als auf der nördlichen. Dazu kommt aber der weitere Umstand, dass der Unterschied zwischen Seeklima und Normalklima in niedrigen Breiten überhaupt weniger hervortritt, sondern erst in höheren und hohen Breiten anfängt schärfer sich geltend zu machen. Aber gerade in diesen Breiten hat die südliche Halbkugel so verschwindend wenig Land, dass auf sie der Einfluss des Landes sich nicht geltend zu machen vermag und der Einfluss des Meeres somit der allein bestimmende ist. In den höchsten Breiten aber, ungefähr vom Polarkreis an fehlen in der südlichen Halbkugel die direkten Temperaturbeobachtungen gänzlich und ist auch der Umfang des Landes daselbst ganz

unbekannt. Für diese Breiten ist somit die Berechnung nur ganz theoretisch fortgeführt, sowohl was das Seeklima als das Normalklima anbelangt.

Die Aufstellung der Temperaturskalen der südlichen Halbkugel, so unvollkommen dieselbe auch noch sein mag, ist jedoch von Bedeutung aus dem Grunde, weil hier thatsächlich sich herausstellt, dass bei einem gewissen hohen Prozentsatz des Wassers, die klimatische Einwirkung des Landes ganz oder fast ganz verschwinden kann und in der That der Ozean als der allein das Klima bestimmende Faktor erscheint.

Auf die weitere Eigentümlichkeit, dass die südliche Halbkugel kälter ist, werden wir im II. Abschnitt zurückkommen. Mit der grösseren Meeresbedeckung kann dieser letztere Umstand nicht zusammenhängen; denn Meeresbedeckung, in mittleren, höheren und hohen Breiten insbesondere, ruft vermöge der physikalischen Eigenschaften des Wassers, grössere Wärme hervor. Auf der Südhalbkugel bestehen aber Ausnahmszustände, die später besonders hervorgehoben werden; hier nur die Bemerkung, dass die Wärmeabsorption durch das Schmelzen der gewaltigen Eismassen, die von dem antarktischen Kontinent (oder Archipel) abgehen, als die erkältende Ursache bezeichnet werden muss.

Die Eigenschaft des Wassers, die vorhandene Temperatur mit Zähigkeit festzuhalten und dadurch die Unterschiede auszugleichen, lässt sich auch noch an anderen Erscheinungen wahrnehmen, besonders an den Meeresströmungen, sowohl an den warmen (Golfstrom) als an den kalten (peruanischer etc. Strom). Je nach der Jahreszeit und geographischen Breite beträgt der Temperaturunterschied des warmen Wassers des Stroms gegenüber dem ausserhalb desselben befindlichen 5°—10° C. Der peruanische kalte Strom aber bewahrt seine niedrige Temperatur bis unter den Äquator (Galapagosinseln) so, dass seine Wasser um 10°—12° C. kälter sind, als die des umgebenden Meeres. (Wettstein l. c. S. 203 u. 209.) Wenn freilich der Fall eintritt, dass ein kalter und ein warmer Strom sich kreuzen oder wenigstens zusammenstossen, wie es in der That bei dem Golfstrom und Labradorstrom in der Nähe von Neufundland geschieht, so hebt sich ihre Wirkung zwar nicht ganz auf, aber sie wird beträchtlich abgeschwächt. Man kann sich leicht eine Vorstellung machen, wieviel Wärme dem Golfstrom durch die schwimmenden Eisberge des Labradorstroms, die in ihm abschmelzen, entzogen wird und wieviel energischer seine Wirkung sein würde, wenn ihm

diese Eismassen nicht begegnen würden. Die Bank von Neufundland verdankt ihre Entstehung den Felsblöcken und dem Schutt, welcher bei dem Abschmelzen der Eisberge zu Boden gefallen ist.

In den alten geologischen Perioden war nun von Eisbergen entfernt keine Rede und die warmen Strömungen vom Äquator her konnten deshalb ihre ungeschwächte wärmende Kraft ausüben. Die schwimmenden Eisberge sind ihrem Ursprung nach wesentlich ein Produkt des Landes und zwar des gebirgigen Landes; sie sind Produkte der Gletscher, welche ihre Eismassen in das Meer ergiessen. Dieser Einfluss der kontinentalen gebirgigen Beschaffenheit der Erdoberfläche fällt für die alten geologischen Perioden selbstverständlich ganz weg, weil damals der Ozean im Besitz der Erdoberfläche war. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass auch schon Sartorius von Waltershausen bei seiner Berechnung des reinen Seeklimas solche Stationen, deren Temperatur durch derartige kontinentale Einflüsse herabgedrückt wird, ausgeschlossen hat, offenbar mit Recht. Bei Berechnung des reinen Seeklimas müssen die Einflüsse der Kontinente, seien sie nun direkte oder indirekte mit Konsequenz soweit möglich fern gehalten werden.

Aus den bisherigen Darstellungen ergibt sich, dass in dem reinen Seeklima eine typische Annäherung an das Klima der alten geologischen Periode unverkennbar zu Tage tritt; die grössere Gleichförmigkeit der gesamten Temperatur der Erdoberfläche und die grössere Wärme in allen Breiten, jedoch mit Ausnahme der Tropen, das sind charakteristische Züge, welche das Klima der Urzeiten mit dem reinen Seeklima gemeinsam hat. Ferner ist hinzuweisen auf die eigentümliche Abstufung in der Verteilung der Wärme von den Tropen gegen die Pole. In den mittleren Breiten oder in der gemässigten Zone ist die Zunahme der Erwärmung bei dem Seeklima, gegenüber dem Normalklima zwar schon sehr merklich und beträgt im Durchschnitt 5⁰—6⁰ R., aber noch viel beträchtlicher wird dieselbe in dem Polarkreise und steigert sich hier schliesslich bis zu 14⁰ R. Das sind die empirischen Wirkungen der Warmwasserheizung bei der heutigen Ordnung der Dinge. Diese starken Effekte werden hervorgebracht durch die oberflächliche Zuströmung des in niedrigerer Breite erwärmten Wassers des Ozeans. Alle diese Punkte müssen bei Erforschung des Klimas der alten geologischen Formationen im Auge behalten werden; denn der klimatische Typus derselben und die Beschaffenheit des reinen Seeklimas zeigen nach all diesen Seiten eine in die Augen fallende

Verwandtschaft, wenn auch die wirklichen Temperaturziffern derselben in mittlerer und hoher Breite noch weit auseinander liegen. Aber man darf hoffen, in dem reinen Seeklima der Gegenwart die feste Basis und die erste Stufe zu besitzen, von wo aus man sich dem rätselhaften Klima der Urzeiten nähern kann. Der Beweis braucht kaum ausführlich geliefert zu werden, dass in den alten geologischen Perioden das ozeanische Klima das entschieden vorherrschende war. Die Schichtenkomplexe dieser Formationen schliessen überall fast ausschliesslich nur Reste von solchen Organismen ein, welche dem Meere angehörten. Die Reste von Landtieren und Landpflanzen fehlen nicht ganz; aber das Vorkommen derselben ist sporadisch, weil das Festland selbst nur in Form von wenig umfangreichen Inseln, die den Namen von Kontinenten nicht beanspruchen können, vorhanden war. Die relativ grösste Ausdehnung hat in den alten Perioden ohne Zweifel das Land zur Zeit der Steinkohlenformation. Aber dieses Land war sehr niedrig und sumpfig, sank oft unter den Meeresspiegel hinab, so dass auch in dieser Periode die Erdoberfläche des ozeanischen Charakters nicht verlustig wurde. Dabei darf nicht übersehen werden, dass, wenn von der grossen Ausdehnung der Steinkohlenformation gesprochen wird, darunter auch der Kohlenkalkstein, eine rein meerische Ablagerung, begriffen ist. Wie mässig, fast verschwindend klein, der Umfang der nicht meerischen Steinkohlenformation war, stellt sich durch eine Berechnung F. v. Hochstetter's (Unser Wissen von der Erde, 1884, S. 527) heraus. Hiernach „beträgt das produktive (nicht meerische) Areal der Steinkohlenformation in ganz Europa kaum mehr als 1140 deutsche Quadratmeilen, das ist eine Oberfläche nicht so gross wie Bayern (1380 Qu.-Meilen) und wenig grösser als Böhmen (944 Qu.-Meilen). Davon kommen auf Grossbritannien 480, auf Deutschland 180, Österreich-Ungarn 100, Frankreich 90, Belgien 45, Spanien 45, Russland und die Türkei etwa 200 Qu.-Meilen. In Nordamerika berechnet Credner die Kohlenareale zu 5800 Qu.-Meilen, also fünfmal so gross als die europäischen. Nach anderen Berechnungen ist es 10 mal grösser. Die Kohlenfelder Asiens (China) mögen ungefähr ebenso gross sein, wie die von Nordamerika. Australien hat ein ungefähr ebenso grosses Areal wie Europa; Afrika ist in dieser Beziehung noch unbekannt."

Das Gesamtareal der nicht meerischen Kohlenformation beziffert sich nach Hochstetter auf der ganzen Erde nach der niedrigeren Schätzung auf ca. 12000, nach der höheren auf ca. 25000

Qu.-Meilen. Wenn man bedenkt, dass die ganze Oberfläche der Erde mehr als 9 Millionen deutsche Quadratmeilen umfasst, so sieht man wohl, wie gering die obigen Ziffern (sie sind nur ein schwacher Bruchteil von 1 %) und wie zerstreut diese Flecke über den weiten Umkreis der Erdoberfläche zerstreut sind. F. v. Hochstetter bemerkt deshalb auch (l. c. S. 523) über den Charakter der Steinkohlenflora: „Diese üppige einförmige Vegetation deutet auf eine schwüle, mit Dünsten erfüllte Luft, auf ein feuchtes, gleichmässiges, warmes Insel- und Küstenklima.“ Wenn nun auch zugegeben wird, dass noch viele Kohlenlager sich im Schosse der Erde befinden mögen, von denen zur Zeit keinerlei Kunde besteht, so wird dadurch doch der gesamte Formationscharakter, der deutlich auf zerstreute Inselgruppen hinweist, in keiner Weise geändert. Selbst noch die nichtmeerischen Schichten der Keuperlandschaft verraten in ihren Kalamiten etc. sehr bestimmt den Charakter eines sumpfigen Terrains, nicht den eines trockenen oder gebirgigen Landes. In der Jura- und Kreideformation überwiegen die meerischen Bildungen mit grosser Entschiedenheit.

Wenn es nun unter Grundlegung des ozeanischan Klimas gelingen würde, noch einen weitern Schritt zu thun und die klimatischen Eigenschaften desselben noch zu verstärken, so würde man dem Klima der alten Periode immer mehr sich nähern. In den folgenden Artikeln werden wir suchen, diese Annäherung zu erreichen.

Zweiter Artikel.

Von den Bewölkungsverhältnissen der Erde in den alten geologischen Perioden.

Der Luftozean, der die Oberfläche der Erde umgibt, zeigt heutzutage überall sehr wechselvolle Zustände der Heiterkeit und Trübung in sehr weiten Grenzen. Derselbe enthält Wasser, aber sowohl in der Form des unsichtbaren Wasserdampfs, als in der sichtbaren Form des Dunstes, Nebels, der Wolken in allen denkbaren Nüancen.

Hierdurch wird das Spiel der Zustrahlung und Ausstrahlung der Wärme auf der Oberfläche der Erde sehr verwickelt; nur soviel steht fest, dass durch Heiterkeit des Himmels die Temperaturdifferenzen zwischen Tag und Nacht (Temperaturkurven des Thermographen) gesteigert, durch Bewölkung aber vermindert, verflacht werden.

Ob nun die Heiterkeits- und Trübungsverhältnisse zu allen geologischen Perioden den gleichen Grad und Charakter gehabt haben, wie heutzutage, darüber lässt sich mit Sicherheit nichts sagen.

Wir betreten hier ein Gebiet, welchem der hypothetische Charakter nicht ganz abgestreift werden kann. Allein eine Reihe von Gründen spricht dafür, dass die Bewölkung in den alten und ältesten Erdperioden eine stärkere und konstantere gewesen sein müsse, als heutzutage; jedoch nicht so stark, dass durch dieselbe die Tageshelle selbst wäre ausgelöscht worden. Die hauptsächlichsten Gründe sind:

1) Es ist selbstverständlich, dass, solange die Oberfläche der Erde zum allergrössten Teil mit Wasser bedeckt war und wohl Inseln aber keine Kontinente im heutigen Sinne bestanden, die Verdampfung des Wassers in weiterem Umfange stattfinden musste, als heutzutage, wo nahezu der dritte Teil der Oberfläche aus trockenem Land besteht.

2) Ebenso ist einleuchtend, dass die durch die Sonne über den Tropen stark erwärmte Luft am meisten mit Wasserdampf gesättigt wurde, der sich aber bei seinem Abfliessen gegen die höheren Breiten nicht mehr als unsichtbarer Wasserdampf in der kühleren Luft erhalten konnte, sondern sichtbare Dunst- und Wolkenform annahm. Bei den höchst einfachen geographischen Verhältnissen der ältesten Perioden der Erde wird dieser Prozess der Verdichtung des Wasserdampfes ein sehr regelmässiger und konstanter gewesen sein.

3) Die trockenen Landwinde, welche geeignet sind, die Wolken aufzusaugen und heitern Himmel hervorzurufen, fehlten dazumal ganz. Gebirgshöhen mit verschiedener Temperatur und dadurch hervorgerufener Aspiration und unregelmässigem Einfluss auf die Witterung fehlten ebenfalls ganz.

4) Die Pflanzen, welche in den ältesten Perioden existierten, waren so beschaffen, dass dieselben nach Analogie der lebenden (Bärlappen und Farne) der Einwirkung des direkten Sonnenlichtes wenig bedurften (Heer). Sie stehen somit in gutem Einklang mit einem konstant bewölkten Himmel. Graf Saporta (l. c.. S. 179) weist auf die sehr eigentümliche innere Struktur der Steinkohlenpflanzen hin und zieht daraus den Schluss, dass die Steinkohlenperiode noch keine regelmässige Ordnung der Jahreszeiten besass. „Unter dem Einfluss einer konstanten, feuchten Wärme strebten die Gewächse nach beständiger Vermehrung ihrer weichen zelligen Gewebe. Die Erschöpfung konnte allein ihrer ohne Unterlass fortgesetzten Entwickelung ein Ziel setzen; keine periodische Wiederkehr führte für sie jene abwechselnden Zustände von Ruhe und Thätigkeit herbei, welche jetzt die Vorgänge des Pflanzenreichs beherrschen und von welchen fast alle heutigen Phanerogamen uns

das Schauspiel geben.“ Eine solche Beschaffenheit der Pflanzen, welche den Wechsel der Jahreszeiten ausschliesst, selbst in mittleren und hohen Breiten, lässt sich nur mit einem konstant bewölkten Himmel in Einklang bringen, welcher sich über niedrigen Inseln oder Archipelen ausspannte. Hier konnte sich, wenn nur die umgebenden Gewässer warm genug waren, ein solcher Zustand der Temperatur bilden und erhalten. Die Temperatur hing dann wenig von dem Stand der Sonne ab; die Wärme wurde durch das Wasser gebracht und durch die konstante Dunsthülle bewahrt zu jeder Jahreszeit.

5) Auch die Insekten jener Zeit (Kakerlaken und Termiten) sind der Mehrzahl nach nächtliche Tiere (Heer). Die Organisation des Trilobitenauges, welches man für die Existenz eines heiteren Himmels in den ältesten Perioden anführte, beweist doch nicht mehr, als dass auch in diesen alten Perioden Tageshelle vorhanden war. Denn nicht bloss entbehrt ein Teil dieser artenreichen Gruppe gänzlich der Sehorgane, sondern nach Barrande waren dieselben pelagische Tiere, die auf dem Grund des Ozeans lebten, deren Sehorgane schon aus diesem Grund nur ein abgeschwächtes Licht empfangen konnten (cf. Bronn: Klassen und Ordnungen des Tierreichs Bd. V, S. 1168 u. 1260).

6) Sehr wichtig und instruktiv sind die astronomischen Beobachtungen, die an andern planetarischen Körpern gemacht wurden. Offenbar befinden sich nicht sämtliche Planeten im gleichen Stadium ihrer geologischen Entwickelung. Die grossen Kugeln (Jupiter, Saturn) befinden sich in einem jüngeren Stadium als die kleine Kugel z. B. des Mondes der Erde. Nun ist es aber interessant, dass gerade die zwei grössten Planeten nach allgemeiner Übereinstimmung nicht bloss sehr mächtige, sondern konstant bewölkte Atmosphären zeigen. Auch die Venus, die der Erde an Grösse gleichsteht, aber weil zu den innern Planeten gehörig, wohl jüngeren Ursprungs ist, als die Erde, besitzt eine „dichte Atmosphäre, die mit Wolken fast ständig bedeckt ist, sehr selten nur hinreichend klar ist, um den Anblick der eigentlichen Oberfläche des Planeten zu gestatten.“ (H. Klein: Durchmusterung des Himmels, S. 100.)

Wie selten die Wolkendecke der Venus zerreisse, geht daraus hervor, dass von der ersten Beobachtung ihrer festen Oberfläche durch Bianchini bis zur sicheren Wiederbeobachtung derselben durch de Vico 120 Jahre vergingen. Herschel sah dieselbe niemals. (H. Klein.)

Anderseits hat die kleinere Kugel des Mars zwar eine Atmo-

sphäre ähnlich der Erde, aber weniger wolkig, so dass es SCHIAPARELLI gelungen ist, eine Karte der gesamten Oberfläche innerhalb kurzer Zeit zu entwerfen.

Die noch kleinere Kugel des Mondes der Erde aber ist in ihrer Entwickelung soweit vorgeschritten, dass dieselbe der Atmosphäre und des Wassers verlustig geworden ist.

Es scheint hier ein allgemeines planetarisches Entwickelungsgesetz vorzuliegen, dessen allgemeine Züge, bei aller Mannigfaltigkeit der einzelnen Planeten doch im grossen übereinstimmen.

Diese und ähnliche Gründe haben denn auch die besonnensten Paläontologen und Geologen[1] bewogen, den ältesten Perioden der Erde eine mehr oder weniger starke Bewölkung zu vindizieren, ohne dass jedoch dieser Gesichtspunkt weiter verfolgt worden wäre.

Es wird somit keine allzugewagte Bahn betreten werden, wenn wir auch unserseits diese Voraussetzung machen; nur muss eine genauere Erklärung gegeben werden, wie dieser Zustand zu denken sei und wie seine Wirkung auf die klimatischen Zustände der Erdoberfläche aufgefasst werden müsse. Der Schwerpunkt der Aufgabe liegt nicht in dem an und für sich gar nicht fern liegenden, aber in solcher Unbestimmtheit unfruchtbaren Gedanken einer stärkeren Bewölkung der Atmosphäre der Urzeiten, sondern in der genaueren Präzisierung dieses Zustandes und besonders in der möglichst konkreten Entwickelung der Art und Weise der Einwirkung desselben auf die klimatischen Verhältnisse der alten Erdperioden.

Die genauere Vorstellung, wie wir uns den Zustand der konstanten Bewölkung denken, lässt sich in wenigen Zügen darstellen.

1) In den Tropen und den nächstgelegenen Gegenden besteht heutzutage ein System von Passaten und Kalmen, das sich über den ganzen Gürtel, soweit er nicht durch Kontinente unterbrochen ist, fortsetzt, sowohl durch den Atlantischen als Stillen Ozean. In dieser Region tragen die meteorischen Verhältnisse so sehr den Stempel der strengen Regelmässigkeit an sich, dass nichts entgegensteht, diese gesetzmässigen Verhältnisse bis in die ältesten Perioden der Erde, in denen das organische Leben anfing, zurück zu datieren. Selbst die Ausnahmen von der Regel (Monsuns im Indischen Meere) lassen sich auf Einflüsse der Kontinente zurückführen und konnten somit in jenen alten Perioden, denen die Kontinente fehlten, gar nicht

[1] z. B. HEER: Urwelt, 2. Auflage, S. 21.

vorkommen. Auch in den alten Perioden schon musste sich ein Wärmeäquator ausgebildet haben, der von dem geographischen Äquator wohl im Laufe des Jahres gegen die Wendekreise hin oszillierte, aber doch in seiner durchschnittlichen mittleren Lage von ihm kaum abweichen konnte. Ebendamit musste sich eine Zone aufsteigender, meist erwärmter Luft daselbst bilden (äquatoriale Kalmen) und damit war der Anstoss zu Passaten und Antipassaten gegeben; es entstand innerhalb der Tropen ein in sich geschlossenes System der Luftzirkulation, das im Laufe der Zeiten und der späteren Entwickelung der Erdoberfläche wohl manche Störungen (durch die Kontinente) erleiden musste, das aber in seinem ursprünglichen Charakter innerhalb der tropischen Gebiete der grossen freien Ozeane (Atlantisches und Stilles Meer) sich am besten konservieren konnte. Aus diesen Gründen gehen wir von der Annahme aus, dass dem ganzen Tropengürtel in der Urzeit das gleiche Mass von Heiterkeit und Trübung des Himmels, von Zustrahlung und Ausstrahlung zugekommen sei, in dessen Besitz dasselbe heutzutage noch über dem tropischen Teil des Stillen und Atlantischen Ozeans sich befindet.

2) Von dieser mittleren Zone weg gegen die höheren Breiten zu hatte sich in der Urzeit eine konstante Dunst- und Wolkenhülle festgesetzt, welche dünner gegen die Tropen, dichter gegen die Pole zu war. Man wird hierbei an die mit dem Äquator parallel laufenden Streifen des Jupiter und Saturn erinnert, die sichtlich auf eine zonenweise Anordnung des Gewölks daselbst hinweisen.

Der Grund für unsere Annahme liegt darin, dass die Kondensation des Wasserdampfs zu sichtbarem Dunst und zu Wolken beim Eintritt der dampfgesättigten Luft in weniger warme Regionen sich vollzog. Sobald der über den Tropen mit Wasserdampf erfüllte Luftstrom bei seinem Abfluss nach den höheren Breiten in Regionen kam, die, bei gleicher Höhe, einen geringeren Wärmegrad besassen, so ging ein Teil seines unsichtbaren Wasserdampfs in sichtbare Bläschen (Dunst, Nebel, Wolken) über. Bei der sehr grossen Gleichförmigkeit, besser Einförmigkeit der geographischen Zustände der alten Perioden musste dieser Prozess ein sehr regelmässiger sein, d. h. die Bewölkung der Atmosphäre in den ausserhalb des Tropengürtels gelegenen Teilen der Erdoberfläche musste konstant sein.

Die Vorstellung, die wir uns von den Bewölkungsverhältnissen der alten geologischen Perioden machen, ist somit keineswegs ver-

wickelt und widerstreitet keinem Naturgesetze; sie ist einfach und vom Standpunkt der Physik nicht abzulehnen.

Über die Art und Weise aber, wie diese Bewölkung auf die klimatischen Zustände zu wirken vermochte und beziehungsweise wirken musste, sowie über die Intensität ihrer Wirkung, darüber müssen wir uns ausführlicher verbreiten. Die beiden nächsten Artikel werden diese Seiten dieses Gegenstandes behandeln.

Dritter Artikel.

Über die Art und Weise der Ausgleichung der Temperatur durch die konstante Bewölkung in den alten geologischen Perioden.

Dass die Bewölkung und besonders eine konstante Bewölkung auf die Temperatur überhaupt ausgleichend wirke, zeigt die tägliche Erfahrung. Die Grenzen der Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht, Sommer und Winter werden eingeengt. Das ist ganz begreiflich, weil durch die Bewölkung sowohl die Zustrahlung als die Ausstrahlung vermindert wird.

Allein bei der ozeanischen Beschaffenheit der Erdoberfläche in den alten Erdperioden wirkte die Bewölkung nicht bloss einfach ausgleichend, sondern ausgleichend zu gunsten einer höheren Wärme.

Im ersten Artikel sind schon die Gründe angegeben, weshalb das ozeanische Klima auch bei den gegenwärtig bestehenden Verhältnissen der Erdoberfläche nicht bloss ausgleichend, sondern (in den mittleren und höheren Breiten) zugleich erwärmend wirkt. Das gilt nun in den alten Erdperioden in gesteigertem Masse wegen ihrer konstanten Bewölkung. Wenn, wie vorausgesetzt wird, in diesen Zeiten von den Wendekreisen polwärts eine konstante Wolkenhülle sich ausbreitete, so traten die unter den Tropen erwärmten Wasser des Ozeans, die Meeresströmungen, in Regionen ein, wo sie zwar vor weiterer Erwärmung durch Zustrahlung, aber auch vor weiterer Abkühlung durch Ausstrahlung ausgiebig beschützt wurden.

Das Resultat ist aber dennoch ein positives zu gunsten der grösseren Erwärmung der hohen Breiten. Würde die Temperatur der Gewässer des Ozeans abhängen ganz allein von jenem Wärmeempfang durch die Sonne, wie er den betreffenden Breitegraden zukommt, würde die Wärme erst in diesen Breitegraden erzeugt, so wäre eine positive Erhöhung der Wärme undenkbar. Allein die Wärme der ozeanischen Gewässer, die in geschlossenem Kreislaufe

vom Äquator polwärts abfliessen, wird nicht erst in den mittleren und hohen Breiten erzeugt, sondern diese Gewässer bringen schon eine Temperatur mit sich, die sie unter den Tropen empfangen haben, die also jene der mittleren und hohen Breiten namhaft übersteigt und diese Temperatur wird durch die konstante Wolken- und Dunsthülle, wenn nicht absolut, aber zu einem namhaften Teil konserviert. Das ist ja auch heutzutage noch der Fall. In der Breite der Faröerinseln wird heutzutage keine mittlere Jahrestemperatur von $+7^0,3$ C. erzeugt; diese Wärme ist zu einem nicht geringen Teil dorthin importiert durch Meeresströmungen, die aber heutzutage freilich durch keine konstante Dunsthülle mehr vor Ausstrahlung in den Weltraum geschützt werden. Wäre die Wärme des Wassers des Atlantischen Ozeans noch besser geschützt und zusammengehalten, so würde auch seine heutige Temperatur eine noch höhere selbst in diesen entfernten Gegenden sein.

Diese nicht an Ort und Stelle erzeugte, sondern aus den Tropen importierte Wärme, die durch die konstante Bewölkung auch noch jenseits der Wendekreise nicht absolut, aber immerhin kräftig konserviert wird, ist im stande, die Temperatur der Oberfläche in den höheren und mittleren Breiten zu steigern. Es liegt hier der Fall einer natürlichen Wasserheizung vor, deren Effekt durch eine vor Verlusten schützende äussere Umhüllung verstärkt wird. Auch schon bei den heutigen wechselvollen Verhältnissen der Heiterkeit und Trübung der Atmosphäre vermag das Meer eine viel grössere Wärme in hohen Breiten zu bewahren. Der Grund davon ist nach der vorangegangenen Darlegung die grosse spezifische Wärme des Wassers und dass die warmen Wasser oben schwimmen. In den alten Erdperioden trat diese Wirkung noch entschiedener hervor, weil (nach unserer Annahme) eine konstante Wolkenhülle sich ausbreitete, die in hohem Grade geeignet war, die Wärme des Wassers noch kräftiger vor Verlusten zu schützen.

Die Auffassung, dass die ansehnliche Wärme der hohen Breiten in den alten Erdperioden eine importierte war, von den Tropen her importiert, nicht an Ort und Stelle erzeugt, kann um so weniger beanstandet werden, als niedrige Temperatur in ganz analoger Weise heutzutage von dem Polarkreise bis in die Tropen und bis zum Äquator wirklich und nachweisbar importiert werden. Die Tiefseeforschungen ergeben ganz zweifellos, dass in den grössten Tiefen der Meere, selbst unter den Tropen, grosse Wassermassen vorhanden sind, deren Temperatur wenig über 0^0 steht. Eine solche

niedrige Temperatur kommt heutzutage unter den Tropen gar nicht vor, ausser auf den höchsten Berggipfeln, die hier ganz ausser Betracht bleiben. Woher kommt nun diese tiefe Temperatur der Gewässer in diesen Breiten? Sie ist, wogegen kein Widerspruch besteht, aus den Polarkreisen importiert. Die kalten Wasser jener Gegenden senken sich nieder und breiten sich auf dem Grunde der Meere langsam aus und gelangen so, ohne ihre Temperatur wesentlich zu ändern, bis in die Tropen, um dort den Meeresgrund zu erkälten. Dass somit auch die warmen Wasser, oben schwimmend, unter günstigen Umständen, ehemals bis in die Polargegenden vordringen konnten und die Oberfläche jener Gegenden erwärmen konnten, kann ebensowenig befremden, als dass die Polargewässer heutzutage, bei veränderten Umständen, den Meeresgrund der Tropen einnehmen und abkühlen; die räumliche Entfernung ist die gleiche.

Dass die kalten Wasser der Polargegenden ihre heimatliche Temperatur heutzutage auf so weite Entfernung hin bewahren können, ist dadurch ermöglicht, dass dieselben an den tiefsten Stellen der Ozeane sich ausbreiten, unbeeinflusst von jenen Temperaturen, welche viele tausend Fuss über ihnen, an der Oberfläche des Meeres, herrscht. Das kalte Wasser hat ein Streben nach unten, das warme nach oben; somit findet kein oder nur ein sehr unvollständiger Ausgleich der Temperaturen statt. Bei der heutigen Ordnung der Dinge büsst freilich das warme Wasser einen namhaften Teil seiner Wärme ein durch Ausstrahlung in die hohen Räume des Luftmeers. Denkt man sich aber eine konstante kräftige Umhüllung der Erdoberfläche durch Dünste und Wolken, welche die Ausstrahlung der Wärme verhinderte oder wenigstens sehr beträchtlich verminderte, so wurde die Wärme des Wassers zusammengehalten und vermochte sich auch auf der Oberfläche ohne bedeutende Einbusse zu erhalten.

Der eigentliche Grund der Erwärmung liegt in dem Vorhandensein und in der Beschaffenheit (spezifischen Wärme) des Wassers, die durch den Schutz einer konstanten Bewölkungshülle zu einer beträchtlich stärkeren Geltung kommt, als ohne diese. Der grosse Vorteil, den diese Auffassung darbietet, besteht darin, dass durch die Annahme einer konstanten Bewölkung kein an sich neuer Wärmefaktor eingeführt wird, der aus sich selbst und nach besonderen Prinzipien wirkte. Die Wirkungsweise der konstanten Bewölkung ist vielmehr in den physikalischen Eigenschaften des Wassers schon enthalten; dieselbe trägt nur dazu bei, die letzteren kräftiger in die Erscheinung treten zu lassen.

Damit ist das Problem bedeutend vereinfacht. Es ist nicht erforderlich, dass erst die Gesetze erforscht werden müssten, wie die konstante Bewölkung wirkt. Diese Gesetze sind schon gegeben, empirisch gegeben, in der Art und Weise, wie das reine Seeklima sich dem Normalklima gegenüber verhält; nur dass dieses Verhältnis in all seinen Beziehungen noch um irgend einen Betrag gesteigert wird.

Die Annahme, dass gar kein Temperaturunterschied zwischen den Polen und dem Äquator in den alten Perioden bestanden habe, ist nicht zu halten. Irgend ein Unterschied muss wohl bestanden haben; denn auch eine dichte und konstante Bewölkung ist kein absoluter Schutz gegen die Ausstrahlung; ebenso ist die Zähigkeit des Wassers, seine Wärme beizubehalten ebenfalls doch nur eine beschränkte. Die Frage ist nur: erreichte die Abkühlung des Meerwassers in den alten Perioden einen grösseren Grad als heutzutage, oder einen gleichen, oder einen kleineren? Grösser kann sie nicht gewesen sein; aber auch nicht gleich gross: denn heutzutage sind Faktoren vorhanden, welche gerade in mittleren und hohen Breiten die Oszillationen der Temperatur und zwar im Sinne der Erkältung sehr begünstigen; das sind die Kontinente und die durch dieselben hervorgerufenen starken Unterbrechungen der Bewölkung. Die Abkühlung muss also kleiner gewesen sein, weil die Kontinente in den alten Perioden noch nicht bestanden. Die weitere Frage, mit welcher der nächste Artikel sich befasst, ist: um welchen Betrag war die Abkühlung kleiner (oder die Wärme grösser) in der alten Periode als heutzutage? Das wird sich a priori freilich nicht bestimmen lassen, das feste Land ist zwar bei Berechnung des reinen Seeklimas, soviel als möglich in seinen direkten Einflüssen eliminiert; aber damit sind noch nicht alle indirekten Einflüsse desselben, besonders die Unterbrechung der Bewölkung, die vom Lande ausgehend, sich auch über die Meere hin verbreitet, beseitigt. Die Seewinde treiben Wolken in die Kontinente, aber die Landwinde heitern auch den bewölkten Himmel der Meere auf. Diese Oszillationen sind überall vorhanden; es kommen überall Perioden vor, in welchen durch den Einfluss der Bewölkung die Temperaturkurven (Secchi's Apparat) auf einen geringsten Betrag herabgedrückt werden, aber auch andere, in welchen dieselben steil auf- und absteigen.

Diese Oszillationen, die von dem Zustande der Bewölkung herrühren, sind bei der Berechnung des Seeklimas der Gegenwart gar nicht berücksichtigt worden; das Seeklima ist berechnet von dem Standpunkt einer gemischten, nicht einer konstanten Bewölkung.

Um aber das reelle Klima der alten Perioden zu erlangen, in welchem das ozeanische Klima in der Reinheit und Stärke seines Charakters noch nicht durch den Einfluss einer unterbrochenen Bewölkung geschwächt war, muss auch dieses Moment berücksichtigt werden. Das Wasser selbst hat zu jeder Zeit die gleichen physikalischen Eigenschaften; aber die vom Lande ausgehende Störung der Bewölkung war nicht immer vorhanden, wenigstens nicht immer gleich. Das Meer erlitt hierdurch allmählich eine Einbusse an seiner früheren Wärme in höheren Breiten, die bei der Forschung nach der Temperatur der alten Perioden ihnen zu ersetzen ist. Dieser Zuwachs der Wärme durch die konstante Dunsthülle schliesst sich aber in allweg an die Temperaturverhältnisse des Seeklimas an, und steht zu demselben in irgend einer einfachen Proportion.

Die bisherige Entwickelung lässt sich in folgende Sätze zusammenfassen:

1) Der Temperaturunterschied zwischen Tag und Nacht Sommer und Winter, überhaupt der ganze Gang der Jahrestemperatur wird schon durch die physikalischen Eigenschaften des Wassers bei der ozeanischen Beschaffenheit der Erdoberfläche, auch bei den heutzutage bestehenden Bewölkungsverhältnissen stark eingeengt oder ausgeglichen. Noch mehr wird dies geschehen durch den Hinzutritt einer konstanten Bewölkung.

2) Diese Ausgleichung der Temperatur fällt aus zu gunsten einer grösseren Erwärmung. Schon die physikalischen Eigenschaften des Wassers allein, abgesehen von den Bewölkungsverhältnissen, bringen diese Wirkung hervor, wie sich in dem reinen Seeklima der Gegenwart offenbart. Noch mehr wird dies geschehen durch den Hinzutritt der konstanten Bewölkung.

3) Die ausgleichend-erwärmende Wirkung des Ozeans tritt in verschiedenen Breiten verschieden in die Erscheinung. In den niedrigen Breiten ist die Ziffer am kleinsten, in den mittleren mittelmässig stark, in den hohen am höchsten. Dies geschieht schon bei den heutigen Bewölkungsverhältnissen; durch den Hinzutritt einer konstanten Bewölkung treten auch diese Verhältnisse noch schärfer hervor.

4) Die Temperatur der Tropen erleidet durch die Eigentümlichkeiten des reinen Seeklimas überhaupt nur eine ganz geringe Änderung. Nach der obigen Annahme waren die Bewölkungsverhältnisse unter den Tropen auch in den alten Perioden unverändert wie bei dem heutigen reinen Seeklima, so dass die Temperatur der Tropen

durch dieselben überhaupt nicht weiter in Mitleidenschaft gezogen wurde.

Es erübrigt nun hauptsächlich noch die Beantwortung der Frage, ob der Betrag der ausgleichend-erwärmenden Wirkung durch die konstante Wolkenumhüllung ganz unbestimmt gelassen werden müsse, oder ob es möglich sei, einigermassen bestimmte Ziffern einzusetzen, wenn dieselben auch nicht auf endgültige Genauigkeit Anspruch machen können. Wenn dies gelingt, so wäre der sich ergebende Betrag einfach zu der Temperatur des reinen Seeklimas der Gegenwart zu addieren und könnte sich hiermit im günstigen Falle die Temperatur der alten Erdperioden als Resultat ergeben.

Vierter Artikel.

Über den numerischen Betrag der Ausgleichung und Erwärmung durch die Dunsthülle.

Sartorius von Waltershausen hat das Verdienst, dass er das Seeklima nicht bloss als den nächstverwandten klimatischen Typus der alten Perioden aufgestellt hat, sondern dass er auch versucht hat, den Zuschuss an Wärme zu ermitteln, der den alten Formationen gebührt. Er strebt hiermit eine Bestimmtheit in der Methode wie in den Resultaten an, setzt sich aber freilich auch der Gefahr aus, dass seine Resultate in Inkongruenz geraten mit den paläontologischen Forderungen. Letzteres ist in der That, besonders seit der näheren Erforschung der arktischen fossilen Flora (Heer) in bedeutendem Grade eingetreten, wodurch der Erfolg seiner Arbeit geschmälert wurde. Allein, wenn auch Sartorius in den Ziffern, die er als Zuschuss zum Seeklima benützte, und in der Verwertung desselben ohne Zweifel fehl gegriffen hat, so wird doch sein prinzipieller Standpunkt und der Gang seiner Untersuchung, nur mit Vermeidung und, soweit es gelingt, mit Verbesserung seiner Irrungen, einzuhalten sein.

Zu der Grundlage des Seeklimas fügt Sartorius (l. c. S. 150), um das Klima der verschiedenen geologischen Perioden zu erreichen, hinzu:

1) Einen Wärmezuschuss aus dem Erdinnern, der jedoch von 3^0,20 R., während der Silurzeit, bis zur Diluvialzeit auf 0^0,027 R. (l. c. S. 155) sich vermindert.

2) Zuschuss durch Wolken, Regen und Winde 1^0 R. (l. c. S. 153).

3) Wärmetransport durch Meeresströmungen 2^0 R. (l. c. S. 153).

Eine teilweise Ausgleichung der Temperaturschwankungen durch stärkere Bewölkung wird von ihm nicht ignoriert, sondern im Betrag von 1°,70 R. angeführt (l. c. 151); aber er fasst diese Ausgleichung nicht als zu gunsten der grösseren Wärme beitragend auf, sondern als indifferent, so dass er dieselbe nicht wie die vorhergehenden drei Werte zu dem Seeklima addiert.

Dass nun der Zuschuss der Wärme aus dem Erdinnern als über alle Breitegrade hin gleich, aber nach der Zeit (Formation, Dicke der Erdrinde) proportional abnehmend behandelt wird, kann nicht beanstandet werden. Sartorius behandelt aber nun auch die Werte sub 2 und 3 gerade so, nämlich als unter allen Breitegraden gleich, und nur als der Zeit (Formation) proportional abnehmend (l. c. S. 155); eine Annahme, die nicht haltbar sein wird. Diese Werte sind wie man sieht, ohnedies nur das Resultat einer vagen Schätzung (und können der Natur der Sache nach nichts anderes sein), worüber man verschiedener Ansicht sein kann; ob damit wirklich ein glücklicher Griff gemacht sei, müsste erst der Erfolg zeigen. Zu wichtigeren Bedenken gibt aber die Behandlung derselben Veranlassung. So unanfechtbar es sein wird, dass die innere Erdwärme über alle Breitegrade hin gleichmässigen Zuschuss liefern wird und nur der Zeit (Formation) nach proportional abnehme, so unrichtig wird es sein, den Wärmezuschuss durch Meeresströmungen unter dem nämlichen Gesichtspunkt zu behandeln. Gerade die empirische Erforschung der klimatischen Eigentümlichkeiten des Seeklimas, die das Verdienst von Sartorius ist, gibt Aufschluss, dass jene Werte nicht überall d. h. in allen Breitegraden gleichmässig angesetzt werden dürfen, sondern dass sie, ganz so wie das Seeklima gegenüber dem Normalklima, nach der geographischen Breite ab- und zunehmen (cf. Tabelle I). Das Seeklima bewirkt unter den Tropen keinen Zuwachs an Wärme gegenüber dem Normalklima; in mittleren Breiten einen mittleren, in hohen Breiten erst einen sehr beträchtlichen Zuwachs. Die Meeresströmungen, die von dem Meere selbst prinzipiell gar nicht zu trennen sind, müssten eine geradezu unerklärliche Ausnahmestellung einnehmen, wenn durch sie die Temperatur sowohl der niederen und mittleren als auch der hohen und höchsten Breiten überall um 2° R. oder einen anderen, aber überall gleichbleibenden Wert, erhöht wurde. Es bedarf keines Beweises, sondern nur einer Hinweisung, dass die Art der Erwärmung durch Meeresströmungen sich ganz im Einklang mit dem Seeklima selbst vollziehen muss, dass also der von denselben ausgehende Wärme-

zuwachs in höheren Breiten, dem Normalklima gegenüber, stetig wächst.

Ebenso sind Regen und Winde mit der Oberflächenbedeckung der Erde in engem Zusammenhang, können deshalb auch nicht über alle Breitengrade hin eine gleichmässige Erhöhung der Temperatur um 1° R. bewirken. Es ist auch hier wieder nicht die Frage, ob diese Ziffer an sich zu klein oder zu gross sein könnte, sondern nur, ob ein gleichbleibender Wert für alle Breiten in Anwendung gebracht werden dürfe. Ein warmer Regen wird in niedrigen Breiten die Temperatur nicht erhöhen, sondern etwas abkühlen; aber in höheren Breiten wird er dieselbe oft steigern und je näher den Polen, desto kräftiger. Also auch hier ist eine Anschmiegung an den Typus des Seeklimas nicht zu verkennen. Die Behandlung, wie sie durch Sartorius vorgezeichnet ist, wird somit hier zu verbessern sein.

Über den Zuschuss von Seite der inneren Erdwärme wird im folgenden Artikel noch besonders gesprochen werden.

An Stelle der von Sartorius sub 2 und 3 aufgenommenen Faktoren eines Wärmezuwachses haben wir deshalb die konstante Dunsthülle von den Tropen polwärts eingeführt und in Art. 3 darzulegen gesucht, dass für dieselbe besondere Gesetze über die Art und Weise der mit ihr verbundenen Ausgleichung und Erwärmung nicht erst zu suchen sind, dass dieselben vielmehr schon gegeben sind in den Normen des Seeklimas selbst, deren Verstärkung sie harmonisch bewirken.

Dieser Zustand der konstanten Dunsthülle besteht aber heutzutage nicht mehr; sie ist unterbrochen über Land und Meer hin; die Folgeerscheinungen machen sich überall geltend; auf den Kontinenten selbstverständlich mehr, als auf den insularen Punkten des Ozeans und in den ozeanischen Räumen selbst. Das Normalklima steht deshalb von dem Typus des Klimas der alten Formationen deutlich weiter ab, als das reine Seeklima der Gegenwart, obwohl auch letzteres infiziert ist und nur annähernder den Typus, nicht aber die wirkliche Beschaffenheit desselben bewahrt hat. Um wie viele Grade nun das reine Seeklima der Gegenwart und das Klima der alten geologischen Formationen in ihrer mittleren Jahreswärme ungefähr von einander abweichen, soll gesucht werden. Versuchsweise wollen wir annehmen, dass das Normalklima von dem Klima der alten Perioden um zwei Stufen abgewichen sei, das reine Seeklima der Gegenwart aber nur um eine Stufe; dann muss die Differenz zwischen Normalklima und Seeklima zu letzterem noch addiert

werden, um so eventuell zu dem gesuchten Klima der alten Perioden zu gelangen; es folgt deshalb:

Tabelle III.

Breitegrad.	A. Temperatur des reinen Seeklimas der Gegenwart nach SARTORIUS.	B. Differenz gegenüber dem Normalklima auf Tab. I, Kolonne 4.	C. Addition von A. und B. annähernd Klima der alten Perioden.
90°	+ 0°,84 R.	+ 14°,04 R.	circa + 14° R.
80°	+ 1°,49	+ 12°,69	„ + 14°
70°	+ 3°,36	+ 10°,46	„ + 14°
60°	+ 6°,20	+ 7°,00	„ + 14°
50°	+ 9°,68	+ 5°,38	„ + 15°
45°	+ 11°,50	+ 3°,90	„ + 15°,50
40°	+ 13°,33	+ 2°,43	„ + 16°
30°	+ 16°,70	+ 0°,10	„ + 17°
20°	+ 19°,34	—	„ + 19°
10°	+ 20°,89	—	„ + 20°
0°	+ 21°,14	—	„ + 21°

Dass bei dieser Tabelle in der letzten Rubrik zugerundet, teils auf- teils abgerundet wurde und die Endziffer mit circa bezeichnet wurde, wird keiner Entschuldigung bedürfen. Diese Zahlenwerte selbst sind für das Klima der alten geologischen Perioden ziemlich wohl befriedigend. Es ergibt sich für den Polarkreis die namhafte Wärme von ca. 14° R., für den 45° der Breite 15°,50 R. und für die Tropen 20° R. Bei den Tropen wurde kein Zuwachs in Anrechnung gebracht nach unserer früher schon vorgetragenen Voraussetzung, dass unter den Tropen der Zustand der Heiterkeit und Trübung des Himmels schon in den alten geologischen Perioden so gewesen sei, wie er heutzutage noch über dem tropischen Teil des Atlantischen und Stillen Ozean ist; man sieht jedoch, dass der Zuwachs auch ohne diese Voraussetzung sehr unwesentlich sein würde und eine namhafte Änderung sich nicht ergeben würde. Die Gleichförmigkeit der Temperaturskala ist sodann eine recht grosse; zwischen Polarkreis und Tropen besteht nur ein Unterschied von 6—7° R.

Damit ist nun freilich noch kein Beweis geliefert, dass die Zustände des Klimas sich wirklich so und nicht anders gestaltet haben. Es möchte aber bei dem Stand der klimatischen Frage, wie dieselbe bisher behandelt wurde, schon genügen, zu einer Temperaturskala thatsächlich gelangt zu sein, welche erkennen lässt, dass das Klima

der alten Periode und jenes der Gegenwart sich keineswegs in einem unlösbaren Widerspruch befinden. Beide lassen sich durch eine einfache und nicht unstatthafte Annahme in genügenden Einklang setzen und stehen unter sich in einer einfachen Proportion.

Man wird die Einwendung nicht erheben können, dass eine Verdoppelung der Wärme des Seeklimas für die alten Perioden die Grenzen der Möglichkeit und Wahrscheinlichkeit überschreite. Wir haben schon oben (S. 13) ausgeführt, wie klein der Umfang des festen Landes gegenüber den Räumen des Meeres in den alten Formationen, speziell zur Zeit der Steinkohlenformation, war. Damit war eine starke Potenzierung des ozeanischen Klimas überhaupt und speziell auch eine Vermehrung der Wärme desselben von selbst gegeben und, wenn man das räumliche Verhältnis von Meer und Land, wie es heutzutags besteht, mit den Verhältnissen der alten Formationen vergleicht, so darf eine Verdoppelung der Wärme durchaus nicht als an sich zu hoch gegriffen angesehen werden. Wenn heutzutage das Verhältnis des Wassers auf der Oberfläche der Erde zu ca. 72 % und des Landes zu 28 % berechnet wird, so lässt sich leicht schätzen wie gering der Prozentsatz des Landes für die alten Perioden der Erde sich ergeben muss, und dass somit damals das Seeklima eine nahezu ganz ungeschwächte Kraft ausüben konnte, weil das Land auf einen Bruchteil eines Prozentes der Oberfläche eingeschränkt war.

Doch wird es nicht überflüssig sein, sondern die Statthaftigkeit des angewandten Verfahrens noch bekräftigen, wenn auch noch auf einem andern Wege, durch Vergleichung anderweitiger Zahlenreihen das gleiche Ziel angestrebt und erreicht wird.

In der Tabelle III (S. 27) wurden die mittleren Jahrestemperaturen des Normal- und Seeklimas zur Grundlage genommen. Der Einfluss der Kontinente auf die Abänderung der klimatischen Zustände im Verlauf der geologischen Periode macht sich jedoch nicht bloss in der Differenz (resp. Abminderung) der mittleren Jahrestemperatur geltend, sondern offenbart sich auch in der vergrösserten Oszillation der Temperaturen während der entgegengesetzten Jahreszeiten, des Sommers und des Winters. Es ist für das reine Seeklima eine ganz charakteristische Eigenschaft, dass seine Winter mild und seine Sommer kühl sind, somit seine Temperaturschwankungen gering sind, wie für das Normalklima und noch in höherem Grade für das echte Kontinentalklima, dass seine Winter streng, die Sommer aber heiss sind, somit die Schwankungen

Tabelle IV.

Breite-grade	A. Normalklima: a) Sommertemperatur, b) Wintertemperatur c) Amplitüde der Schwankung	B. Reines Seeklima: a) Sommertemperatur, b) Wintertemperatur, c) Amplitüde der Schwankung.	C. Die Amplitüde a) des Normalklimas ist grösser, als jene des reinen Seeklimas b) um c).
90°	a) — 1°,5 R. b) — 23°,9 c) 22°,4	a) + 5°,2 R. b) — 3°,5 c) 8°,7	a) 22°,4 R. b) 8°,7 c) 13°,7
80°	a) + 0°,1 b) — 21°,9 c) 22°,0	a) + 5°,8 b) — 2°,8 c) 8°,6	a) 22°,0 b) 8°,6 c) 13°,4
70°	a) + 4°,5 b) — 17°,4 c) 21°,9	a) + 7°,5 b) — 0°,7 c) 8°,2	a) 21°,9 b) 8°,2 c) 13°,7
60°	a) + 9°,5 b) — 11°,4 c) 20°,9	a) + 10°,5 b) + 2°,3 c) 8°,2	a) 20°,9 b) 8°,2 c) 12°,7
50°	a) + 12°,9 b) — 4°,5 c) 17°,4	a) + 13°,1 b) + 6°,2 c) 6°,9	a) 17°,4 b) 6°,9 c) 10°,5
40°	a) + 17°,3 b) + 4°,4 c) 12°,9	a) + 16°,3 b) + 10°,3 c) 6°,0	a) 12°,9 b) 6°,0 c) 6°,9
30°	a) + 20°,8 b) + 12°,2 c) 8°,6	a) + 19°,1 b) + 14°,2 c) 4°,9	a) 8°,6 b) 4°,9 c) 3°,7
20°	a) + 22°,0 b) + 17°.7 c) 4°,3	a) + 21°,2 b) + 17°,4 c) 3°,8	a) 4°,3 b) 3°,8 c) 0°,5
10°	a) + 21°,7 b) + 20°,5 c) 1°,2	a) + 22°,1 b) + 19°,6 c) 2°,5	a) 1°,2 b) 2°,5 c) 1°,3
0°	a) + 20°,9 b) + 21°,2 c) 0°,3	a) + 21°,7 b) + 20°,5 c) 1°,2	a) 0°,3 b) 1°,2 c) 0°,9

gross sind. Das Klima der alten Periode weicht hierin am stärksten von dem echten Kontinentalklima ab, aber auch von dem Normalklima, das Land und Meer zugleich umfasst; seine Oszillationen sind selbst noch geringer, als jene des heutigen reinen Seeklimas. Die vergrösserte Schwankungsamplitüde ist somit ein Gradmesser der Abweichung von dem Klima der Vorzeit nicht minder, als die mittlere Jahrestemperatur; sie kann also auch zum Ausgangspunkte dienen, um zu dem Klima der alten Perioden zu gelangen. Einige Beispiele zur Veranschaulichung des Unterschieds der Oszillationen wurden schon im 1. Artikel mitgeteilt. Für die nördliche Halbkugel lässt sich jedoch die Verschiedenheit der Schwankungen der entgegengesetzten Jahreszeiten in einer vollständigen Skala mitteilen, da sowohl Dove (l. c. S. 14; Kolonne 1,3) für das Normalklima, als auch Sartorius für das reine Seeklima (l. c. S. 124 Kol. 4,5) die Temperatur des Sommers und des Winters in abgesonderten Rubriken anführen. Die Temperatur dieser entgegengesetzten Jahreszeiten zeigt die Grenzen an, innerhalb derer sich Normalklima und Seeklima gegenwärtig bewegen und die man kurz die Schwankungsamplitüde nennt. In der Kolonne A der vorstehenden Tabelle IV ist deshalb aufgenommen a) die Temperatur des Sommers, b) des Winters und c) die Schwankungsamplitüde desselben nach Dove bei dem Normalklima. In der Kolonne B sind dieselben Werte angeführt für das reine Seeklima nach Sartorius. Die Kolonne C enthält a) die Schwankungsamplitüde des Normalklimas, b) des reinen Seeklimas und c) den Mehrbetrag derselben bei dem Normalklima gegenüber dem Seeklima.

Bei Benützung dieser Tabelle wird von den gleichen Grundanschauungen ausgegangen, wie zuvor bei Tabelle III; insbesondere wird auch hier die versuchsweise Annahme gemacht, dass das Normalklima um zwei Stufen, das reine Seeklima der Gegenwart aber nur um eine Stufe sich von dem Klima der alten Perioden entfernt habe. Mit anderen Worten wird angenommen, dass mit dem Auftreten der Kontinente und der hierdurch vergrösserten Schwankungsamplitüde eine Temperaturabnahme zwar sowohl bei dem Seeklima, als auch bei dem Normalklima stattgefunden habe, aber bei dem Normalklima in doppelt so starkem Betrag, als bei dem Seeklima. Es ist deshalb zu der Temperatur des reinen Seeklimas noch der Mehrbetrag der Schwankungsamplitüde des Normalklimas gegenüber dem Seeklima zu addieren, um eventuell zu dem Klima der alten Periode zu gelangen, wie schon oben und in Art. 3 näher dargelegt wurde. Hiernach ergibt sich:

Tabelle V.

Breite-grad.	A. Seeklima nach SARTORIUS.	B. Mehrbetrag der Schwankungs-amplitüde beim Normalklima.	C. Summa von A. B.
90°	0°,84 R.	13°,70 R.	14°,54 R.
80°	1°,49	13°,40	14°,89
70°	3°,36	13°,70	17°,06
60°	6°,20	12°,70	18°,90
50°	9°,28	10°,50	19°,78
40°	13°,33	6°,90	20°,23
30°	16°,70	3°,70	20°,40
20°	19°,34	0°,50	ca. 21°
10°	20°,89	— 1°,30	
0°	21°,14	— 0°,90	

Bei genauerer Betrachtung der Tabellen V und IV und Vergleichung derselben mit Tabelle III machen sich einige Punkte bemerklich, die einer einlässlicheren Besprechung bedürfen.

Zunächst ist zu bemerken, dass die Zahlen der Tabelle III und V nicht ganz gleich sein können; denn sie sind der Ausdruck für Verhältnisse, die wohl unter sich nahe verwandt sind und in inniger Verbindung stehen, aber doch keineswegs zusammenfallen. Wenn letzteres der Fall wäre, so hätte es ja auch gar keinen sachlichen Wert, dieselben abgesondert zu behandeln; der Unterschied besteht vorzüglich in nachstehendem Umstande. In Tabelle III ist die mittlere Jahreswärme zu Grunde gelegt, die das Resultat sämtlicher Tage des Jahres oder wenigstens aller vier Jahreszeiten ist. Die Tabelle V legt die Amplitüde der Schwankungen zwischen den zwei entgegengesetzten Jahreszeiten, Sommer und Winter oder zwischen dem kältesten und wärmsten Monat des Jahres zu Grund. Es sind hier zwei verschiedene, wenn auch verwandte Seiten des Gegenstandes in Betracht gezogen, die jedoch aus dem Grunde mit einander in Verbindung gebracht werden können, weil beide mit dem Charakter des Klimas selbst innig verknüpft sind.

Wenn man nun mit Rücksichtnahme darauf die Tabellen III und V vergleicht und besonders die Kolonne C in beiden Tabellen ins Auge fasst, so ist nicht zu verkennen, dass der allgemeine Typus der Verteilung der Wärme, der bei einer Warmwasserheizung unter

guter Umhüllung zu erwarten ist, auch hier in seinen charakteristischen Zügen sich herausstellt. Die Temperatur der ganzen Oberfläche der Erde ist recht gleichmässig, schwankt nur in den sehr mässigen Grenzen von + 14° R. bis 21° R.; es ist somit auch nach diesem Verfahren in den mittleren und hohen Breiten eine recht ansehnliche Wärme vorhanden und die Übereinstimmung mit Tabelle III ist besonders in den Zahlen für die Tropen und für die höchsten Breiten ganz zutreffend. Auffallend aber sind die niedrigen Wintertemperaturen, die bei dem Normalklima (Tabelle IV Kolonne A) teilweise, namentlich auch noch in mittleren Breiten zu verzeichnen waren, ungeachtet bei denselben eine Reduktion auf den Meeresspiegel vollzogen ist. Beispielsweise sind hervorzuheben bei dem fünfzigsten Grad n. B. eine Wintertemperatur von — 4°,5 R. und bei dem 60° mit — 11°,4 R., wobei die entsprechenden Sommertemperaturen doch ziemlich hoch sind.

Hierdurch wird offenbar die Ziffer der Schwankungsamplitüde sehr gross, was auf das Resultat bei der Summierung der Temperatur des Seeklimas und des Mehrbetrags der Schwankungsamplitüde des Normalklimas (Tabelle V Kolonne C) einen fühlbaren Einfluss ausüben muss.

Der Grund dieser auffallenden Temperaturdifferenz ist aber gar nicht zu verkennen. Die grossen Landmassen von Asien und des nördlichen Amerika bewirken in einem breiten Gürtel ein scharf ausgeprägtes kontinentales Klima mit sehr kalten Wintern und warmen Sommern und rufen dadurch eine sehr extreme Amplitüde der Temperaturschwankung hervor, die selbst noch bei den Mittelwerten des Normalklimas in den betreffenden Parallelkreisen sich recht fühlbar macht. Dass wirklich hier eine Abnormität vorhanden sei, die in nichts anderem ihren Grund haben kann, lässt sich durch solche Lokalitäten, die kein extremes kontinentales Klima haben, klar machen. Das Klima von Stuttgart[1], welches unter 48°,47 n. B. liegt, somit dem 50° so nahe steht, dass es ohne Gefahr mit demselben verglichen werden kann, weist eine Sommertemperatur von 18°,6 C. und dagegen eine Wintertemperatur von + 1°,0 C. auf, wobei keine Reduktion auf das Niveau des Meeresspiegels vorgenommen wurde. Stuttgart liegt 268 m über dem Meeresspiegel. Die Schwankungsamplitüde ist somit 17°,6 C. = 14°,0 R. und stimmt

---

[1] Das Königreich Württemberg, herausgegeben vom statistisch-topographischen Büreau, 1882.

damit das Mittel von 22 Stationen in Württemberg (l. c. S. 231) fast genau überein.

Das Normalklima des gesamten 50° aber hat eine Oszillation von 17°,4 R., somit um 3°,4 R. mehr, als Stuttgart und die sämtlichen Stationen in Württemberg. Diese bedeutende Erweiterung ist offenbar auf Rechnung des exzessiven Klimas jener Gegenden zu schreiben, welche unter dem gleichen Breitegrad in den Kontinenten von Asien und Nordamerika liegen; diese machen die Schwankungsamplitüde des Normalklimas des ganzen Parallels erheblich zu gross. Wenn es nun als selbstverständlich angesehen werden darf, dass letztere abnorm stark ist, so muss es gestattet, wenn nicht geboten sein, eine Abminderung derselben eintreten zu lassen. Diese Abminderung wird sich aber auf den ganzen Gürtel zu erstrecken haben, in welchem sich die ausgedehnten Kontinente von Asien und Nordamerika befinden, somit vom 70° n. B. bis zum 30° n. B. In der That lässt auch die Kolonne C der Tabelle V vom 70° an abwärts einen auffallenden Sprung wahrnehmen, der sich auch in mittleren und niedrigeren Breiten, trotz der gesetzlichen allmählichen Abnahme, noch implicite forterhält. Als Betrag der Abminderung möchte sich der bei Württemberg ermittelte Wert mit 3°,4 R. an die Hand geben, obwohl zu vermuten ist, dass derselbe für die niedrigeren Breiten, wo die Oszillationen an sich geringer werden, schon etwas zu hoch sein könnte. Es wird deshalb die Tabelle VI entworfen, in welcher die Werte der Kolonne B der Tabelle V gegenüber, vom 70°—30° n. B. um den Wert von 3°,4 R. vermindert sind:

Tabelle VI.

Breitegrad.	A. Seeklima.	B. Korrigierter Mehrbetrag der Schwankungen beim Normalklima.	C. Summe von A. und B. annähernd Klima der alten Formationen.
90°	0°,84 R.	13°,70 R.	circa 14° R.
80°	1°,49	13°,40	„ 14°
70°	3°,36	10°,30	„ 14°
60°	6°,20	9°,30	„ 15°
50°	9°,28	7°,10	„ 16°
40°	13°,33	3°,50	„ 16°
30°	16°,70	0°,30	„ 17°
20°	19°,34	—	„ 19°
10°	20°,89	—	„ 20°
0°	21°,14	—	„ 21°

Hierdurch wird nun, wie die Kolonne C zeigt, eine klimatische Skala für die Temperatur gewonnen, welche wenigstens, was den gesamten Typus, die Abstufung der Wärme und die Gleichförmigkeit und den allmählichen Übergang der Zonen anbelangt, hinter den Anforderungen der Paläontologie an das Klima der alten Formationen, kaum zurückbleiben dürfte und mit Tabelle III gut übereinstimmt.

Dieses Resultat ergab sich einfach, wie auch bei der Tabelle III durch die Annahme des Prinzips der Warmwasserheizung unter einem Schutz vor Abkühlung durch eine konstante Bewölkung von den Tropen an polwärts. Hierdurch wird, wie in Art. 3 ausgeführt wurde, sowohl die Schwankungsamplitüde eingeengt, als auch die Wärme des von den Tropen aus zufliessenden Wassers zusammengehalten und deshalb die Temperatur der gesamten Oberfläche, auch der zerstreuten Inseln, entsprechend erhöht und gleichförmiger. Inkongruenzen in einem breiten Gürtel, welche die Anwendbarkeit dieser Methode zu beeinträchtigen schienen, liessen sich erklären und möchten schliesslich mehr zur Konsolidierung als zur Erschütterung des Verfahrens dienen. Dass auch hier Zurundungen wie bei Tabelle III vorgenommen wurden, wird keiner besondern Entschuldigung bedürfen.

Eine genauere Betrachtung der Temperaturkurven, wie sie durch den von Secchi erfundenen Apparat hervorgebracht werden, kann ebenfalls, wenn von wesentlich gleichen Grundsätzen bei Verwertung derselben zum Zwecke der Temperaturberechnungen ausgegangen wird, zu einem gut übereinstimmenden Resultat führen. Jene Temperaturkurven geben jedenfalls eine klare und bestimmte Vorstellung davon, wie die Schwankungen der Temperatur durch die Heiterkeit oder Trübung des Himmels wesentlich beeinflusst werden[1]. Man müsste sich jedoch im Besitz einer grösseren Anzahl von Jahrgängen von Kurven befinden und zudem solche Temperaturkurven benutzen können, die nicht bloss an Orten in mittleren, sondern auch in sehr hohen und niedrigen Breiten, aufgenommen sind, um zu einer genügend gesicherten Grundlage der Operation zu gelangen; das wird jedoch schwer, vielleicht unmöglich zu erreichen sein. Der oben von uns eingeschlagene Weg, bei welchem die litterarischen Angaben bewährter Meteorologen zu Grund gelegt wurden, wird daher ohne Zweifel grössere Sicherheit bieten. Es ist

[1] Vergleiche: Württ. naturwiss. Jahreshefte 1881, S. 68 ff.

hier nur zu bemerken, dass die Verwertung jener Temperaturkurven, die im Jahre 1868 in Stuttgart beobachtet wurden, in der That den Massstab direkt an die Hand gab, in welchem Betrag die Temperatur des reinen Seeklimas der Gegenwart zu verstärken sei, um zu dem Klima der alten geologischen Formationen zu gelangen (cf. Württ. naturwiss. Jahreshefte 1881, S. 72). Korrekturen, die durch die Fortschritte der beobachtenden Meteorologie hierbei eintreten werden, sollten in Bezug auf die Mittelwerte, die hier überall in Anwendung kommen, keine auffallende und belangreiche Änderung hervorrufen können.

Fünfter Artikel.

Möglichkeit einer weiteren Steigerung der Wärme.

Der Betrag von 14° R. mittlerer Jahreswärme für die hohen und höchsten Breiten möchte ganz genügen, um die Existenz von Baumfarnen und anderen Gewächsen daselbst zu begreifen. Dieselben verlangen mehr ein sehr gleichförmiges als ein sehr warmes Klima, wie das Vorkommen derselben besonders in Neuseeland beweist. Aber es ist nicht in Abrede zu ziehen, dass die in der Silurzeit und überhaupt in den ältesten Perioden vorkommenden riffbauenden Korallen bis hinauf in das Grinnell-Land bei fast 82° n. B. (cf. Heer: Polarflora V, S. 18) eine etwas höhere Temperatur beanspruchen. Es handelt sich deshalb darum, ob die bisher gefundenen Ziffern sich nicht für die alten Perioden noch um einige Grade steigern lassen. Ein ganz nahe liegendes Auskunftsmittel ist hier der Beitrag der inneren Erdwärme, der in der That für die alten Perioden der Erde nicht wird ganz beseitigt werden dürfen.

Sartorius von Waltershausen berechnet (l. c. S. 155) den Zuschuss der inneren Erdwärme für die silurische Zeit auf 3°,200 R.; für die devonische auf 2°,190 R. und für die Steinkohlenformation auf 1°,242 R.; somit im Durchschnitt auf ca. 2° R.

Wenn jedoch die Ziffern betrachtet werden, die derselbe für die Mächtigkeit der Formationen zu Grund legt[1], so möchte man fast glauben, dass Sartorius einen thunlichst geringen Wert derselben unterlegt habe und es wäre somit möglich, dass selbst diese bescheidenen Zahlen immerhin noch etwas zu hoch gegriffen wären.

Ein anderes Hilfsmittel, um die Ziffer des Wärmebetrags noch

[1] l. c. S. 154; anderseits wären zu vergleichen die Angaben bei Heer: Urwelt, 2. Auflage, S. 646.

zu steigern, ist die Annahme einer voluminoseren, daher auch schwereren und dichteren luftförmigen Hülle des Planeten (die mit Bewölkung nicht zu verwechseln ist) in den alten Perioden. Wenn man bedenkt, wie gross die Masse der Kohlensäure und des Kohlenstoffes ist, die in den Schichten der Erde niedergelegt sind, so kann man nicht umhin, einen grösseren Gehalt von Kohlensäure in der Luft während der alten Perioden anzuerkennen. Wenn die Atmosphäre durch ein grösseres Quantum beigemengter Kohlensäure höher und schwerer war als heutzutage, so war sie auch in jenen Schichten, welche der Erdoberfläche zunächst sich befanden, einer intensiveren Erwärmung fähig. Man braucht sich die Quantität der Kohlensäure durchaus nicht allzu gross zu denken, um auf solche Weise wenigstens noch um ein paar Grade die Temperatur der alten Perioden zu steigern. Es mag jedoch hier ein gewisser Spielraum offen behalten bleiben, um so mehr als das Wärmebedürfnis der Tiere und Pflanzen der ältesten Aera doch nur im allgemeinen, aber nicht mit irgend welcher Genauigkeit geschätzt werden kann. Immerhin sieht man die Möglichkeit, die Temperatur der Urzeiten soweit zu steigern, dass selbst innerhalb des Polarkreises die Korallen ihre Existenzbedingungen finden konnten. Dieses Resultat wird schon erreicht, wenn bei den Tabellen III und VI jede Dekade um 3° R. noch erhöht wird als Gesamtbetrag sowohl der inneren Erdwärme als auch der schwereren Atmosphäre. Hiernach ergeben sich für die polaren Gegenden + 17° R., für die mittlere Breite + 19° R. und für die Tropen + 23° R. Eine Wärme von + 17° R. ist genügend selbst für riffbauende Korallen (cf. FRAAS: Vor der Sündflut, S. 129) und für die mittleren Breiten ist eine Wärme von 19° R. ebenso entsprechend als jene von 23° R. für die Tropen.

Allein wir erklären ausdrücklich, dass wir die beiden oben angeführten Gesichtspunkte nur insoweit herbeiziehen, als dieselben dienlich sind, den Wärmebetrag um einige Grade zu steigern. Prinzipiell, d. h. zur selbständigen Erklärung der klimatischen Verhältnisse der Urzeiten sind dieselben völlig unbrauchbar. Abgesehen davon, dass es durchaus nicht angeht, die innere Erdwärme oder die Dichtigkeit der Atmosphäre nach Belieben bis zu den höchsten Beträgen zu steigern, so sind diese beiden Hypothesen ihrer Natur nach nicht geeignet, den thatsächlichen klimatischen Charakter der Urzeiten zu erklären. Man sieht ohne weiteren Beweis ein, dass die innere Erdwärme und die schwerere Atmosphäre in allen Breitegraden die gleiche Wirkung haben mussten.

Würde aber durch die innere Erdwärme beispielsweise die Temperatur der Pole um 20^{0} R. erhöht werden können, so würde auch die Temperatur der Tropen und überhaupt *aller* Breiten durch die nämliche Ursache um den gleichen Betrag erhöht. Aber es verbliebe immerhin *jene Ungleichförmigkeit* bestehen, welche in verschiedenen geographischen Breiten durch die Sonnenstrahlen hervorgerufen wird. Die Temperatur sowohl des Äquators, als auch der Pole, überhaupt aller Breitegrade, würde zwar um 20^{0} erhöht, aber hierdurch würde *keine Gleichförmigkeit* des Klimas hergestellt, was doch eine ganz charakteristische Eigenschaft der alten Erdperioden ist. Wenn man Gleiches zu Ungleichem addiert, so kommt wieder Ungleiches heraus. Dasselbe ist zu sagen von der schwereren Atmosphäre: die Ungleichförmigkeit der Temperatur, die in verschiedenen Breiten durch die Sonne hervorgerufen wird, bliebe vor wie nach ungemindert bestehen, nur würde die Wärme überall um einige Grade, oder, wenn man will, viele Grade gesteigert. Um aber das auffallend gleichförmige Klima der alten Perioden, in welchem die zonenweisen Unterschiede verwischt sind, zu erklären, bedarf man eines Faktors, der im stande ist, die Wirkung der in höheren Breiten immer schiefer auffallenden und deshalb immer schwächer wirkenden Sonnenstrahlen bis auf einen gewissen Grad zu ergänzen und sich so zu sagen an ihre Stelle zu setzen. Ein solches physikalisches Agens ist das Wasser des Ozeans und man darf sagen, *nur* dieses. Dasselbe erwärmt sich unter den Tropen und ist nun durch seine hohe spezifische Wärme im stande, seine Temperatur mit ansehnlicher Zähigkeit zu bewahren und somit der Oberfläche der Erde auch in hohen Breiten eine Wärme zu verschaffen, welche den Abmangel der Sonnenwärme ergänzt, um so mehr, je vollständiger der Ozean selbst in höheren Breiten vor Ausstrahlung durch Bewölkung geschützt ist.

Auch die meisten anderen Hypothesen scheitern vorzüglich an der nämlichen Klippe. Die Annahme, dass das *gesamte Sonnensystem* zu verschiedenen Zeiten durch verschieden warme Regionen des Weltraums sich bewege, leidet an dem gleichen Missstand. Diese, die ganze Oberfläche des Planeten beschlagende, periodisch wärmere oder kältere Temperatur addiert sich zu jener Temperatur, welche durch die Sonnenbescheinung in den verschiedenen Zonen sehr verschieden sich gestaltet; aber ebendeshalb vermag sie die Ungleichförmigkeit nicht zu beseitigen. Es bestünden in dem angenommenen Falle zwei Wärmequellen, wovon die eine (Weltraum) zu verschie-

denen Zeiten verschiedene Temperaturen mitteilt, die jedoch zur gleichen Zeit für die ganze Oberfläche gleich bleibt. Die andere aber (Sonne) ruft jeder Zeit ungleichförmige Temperaturen auf der Erdoberfläche hervor. Durch den Hinzutritt dieser letzteren Wärmequelle wird die Gleichmässigkeit der ersteren wieder aufgehoben. Nicht minder ergibt sich die Unzureichenheit der schon an sich sehr gewagten Annahme einer Veränderung in der Stellung der Erdachse. Würde man auch zugestehen, dass vor alten Zeiten der Äquator in der Nähe von Spitzbergen verlaufen sein könnte, und damit die dortige Fauna und Flora der Steinkohlenzeit erklären, so müsste doch notwendig irgendwo zu jener Zeit auch eine gemässigte und kalte Zone bestanden haben. Aber hiervon wissen die Paläontologen nichts. Selbst die um mehr als 30 Erdgrade von dort entfernten Steinkohlenschichten in Deutschland etc. sind in sehr vielen Arten übereinstimmend und der gesamte Typus der organischen Wesen identisch. Die Theorie ferner, welche die Schwankungen und Ortsveränderungen des Perihels und Aphels zu ihrer Grundlage nimmt, ist nicht bloss nicht geeignet eine grössere Gleichförmigkeit des tellurischen Klimas zu motivieren, sondern führt zu noch grösseren Ungleichförmigkeiten. Diese Theorie wurde in der That auch hauptsächlich ausgebildet, um die Kontraste der Temperatur zwischen Molassezeit und Eiszeit zu erklären.

Nur die, hauptsächlich von Lyell vertretene, Ansicht einer anderen Verteilung von Land und Wasser vermag eine annähernd gleichförmigere Temperatur zu begründen. Allein sie öffnet offenbar der Willkür einen sehr weiten Spielraum und schliesslich ist dieselbe doch ausser Stand, eine noch grössere Gleichförmigkeit zu produzieren, als sie das reine Seeklima der Gegenwart (Sartorius) darbietet. Offenbar besteht die höchst mögliche Stufe der Gleichförmigkeit, die auf diesem Wege angestrebt und erreicht werden kann, darin, dass das feste Land, als die unzweifelhafte Ursache der exzessiven Temperaturen nicht bloss anders verteilt, sondern überhaupt eliminiert wird. Man sieht aber aus Tabelle I, dass selbst eine solche Temperatur, sowohl was den Grad der Wärme als auch der Gleichförmigkeit anbelangt, weit hinter den Anforderungen der Paläontologen zurückbleibt.

Die Auffassung aber, welche vorzuführen und zu begründen in obigem gesucht wurde empfiehlt sich dadurch, dass sie einerseits die Erklärung einer hohen Temperatur in den hohen Breiten an die Hand gibt, und auch anderseits zugleich die sehr grosse Gleich-

förmigkeit des Klimas in den verschiedensten Breiten erklärt. Nachdem eine solche Grundlage gewonnen ist, leistet die Annahme eines bescheidenen Wärmezuschusses durch die innere Erdwärme und durch eine schwerere Atmosphäre gute Dienste, weil man derselben nur soweit bedarf, um die Temperatur noch um einige Grade über alle Breiten hin zu erhöhen. Wenn somit beispielsweise in den höchsten Breiten statt einer Temperatur von 14° R. eine solche von 17° R. gewonnen wird; oder in mittleren Breiten statt 16° R. der Betrag auf 19° R. und unter den Tropen statt 20° R. auf 23° R. sich steigert, so wird hierdurch den Anforderungen der Paläontologen nur um so besser entsprochen und die Gleichförmigkeit des Klimas hierdurch keineswegs alteriert.

Dass dieser Zuwachs an Wärme nur für die alten geologischen Perioden in Betracht und Geltung komme, ergibt sich aus einer einfachen Betrachtung.

Mit zunehmender Dicke der festen Erdrinde in den jüngeren Perioden schwächt sich die Wirkung der inneren Erdwärme von selbst bis zur völligen Unbedeutendheit ab. In den jüngeren Perioden fällt sodann auch die Wirkung der schwereren Atmosphäre weg, weil die ehemals der Luft beigemischte Kohlensäure durch die später entstandenen Schichten gebunden wurde.

Bei der grossen Gleichförmigkeit der Temperatur in allen Zonen mussten auch die Schwankungen derselben in den verschiedenen Jahreszeiten ganz in den Hintergrund treten. Nicht so fast der Stand der Sonne ist es, der das Klima der alten Perioden in den mittleren und höheren Breiten beherrschte, sondern die Anwesenheit und Temperatur der in ungeschwächter Kraft wirkenden Gewässer des Ozeans. Die warmen Wasser desselben, durch eine konstante Wolkenhülle vor den Wirkungen der Ausstrahlung geschützt, verliehen der ganzen Erdoberfläche ein ebenso warmes als gleichförmiges Klima. Innere Erdwärme und dichtere Atmosphäre wirkten ihrerseits, jedoch nur als untergeordnete Faktoren, in der gleichen Richtung mit, sofern sie die Wärme um einige Grade steigerten, ohne dadurch an der Gleichförmigkeit des Klimas etwas zu ändern.

Sechster Artikel.

Rückblick auf die klimatischen Verhältnisse der alten geologischen Perioden.

Das reine Seeklima der Gegenwart trägt, gegenüber dem Normalklima der gegenwärtigen Erdperiode nicht bloss einzelne deutliche

Züge einer Ähnlichkeit mit dem Klima der alten geologischen Perioden an sich, sondern der gesamte Charakter beider trifft in überraschender Weise zusammen. Beide stimmen typisch zusammen in der grösseren Gleichförmigkeit, in der grösseren Wärme und besonders in der eigentümlichen Verteilung der Wärme. Während unter den Tropen die gleichen oder wenigstens nahezu gleichen Wärmeverhältnisse bestehen, gibt sich sowohl bei dem reinen Seeklima der Gegenwart gegenüber dem Normalklima, wie auch bei dem Klima der alten Perioden in den mittleren und besonders höheren Breiten ein relativ stetig zunehmender (s. Tabelle I) Wärmebetrag zu erkennen, wodurch bei beiden eine beträchtlich grössere Gleichförmigkeit der Temperatur in den verschiedenen Zonen hervorgebracht wird. Diese sämtlichen Eigenschaften wurden als Effekt einer natürlichen Warmwasserheizung bezeichnet und nachgewiesen. Sobald man einmal durch tabellarische Gegenüberstellung von dieser gemeinsamen klimatischen Physiognomie sich volle Klarheit verschafft hat, so drängt sich die zuversichtliche Hoffnung auf, dass in dem reinen Seeklima die feste Basis und der Schlüssel zu finden seien, von wo aus es gelingen werde, zu dem rätselhaften Klima der alten Perioden aufzusteigen.

Diese Überzeugung wird um so lebhafter, da ja in der That während der alten Perioden das ozeanische Klima nahezu vollständig im Besitz sich befinden musste. Es handelt sich bloss darum, einen Faktor ausfindig zu machen, durch welchen die in dem reinen Seeklima zu Tag tretenden Züge noch verstärkt werden. Durch den Umstand, dass die Wärmeziffern des reinen Seeklima der Gegenwart dem Grade nach unzureichend sind, um die Erscheinungen der fossilen Organismen der alten Formationen zu begreifen, darf man sich nicht abschrecken lassen, auf diesem Wege voranzugehen und auf dieser soliden Basis fortzubauen.

Das reine Seeklima der Gegenwart ist ja selbst nur eine Abstraktion, und zwar eine unvollständige, die sich zunächst nur die Aufgabe stellt, die unmittelbaren sozusagen greifbaren Einflüsse des festen Landes auf die Temperatur der Erdoberfläche zu eliminieren. Letzteres ist allerdings eine sehr wichtige Seite, aber es ist doch nicht der einzige Punkt, wodurch sich das reine Seeklima und das Normalklima unterscheiden. In jenen geologischen Zeiträumen, da das Seeklima nicht eine Abstraktion war, sondern in dem thatsächlichen Besitz sich befand, mussten durch seinen gewaltigen Einfluss auch noch anderweitige Wirkungen hervorgerufen

werden, namentlich auch auf den Zustand der Atmosphäre. Die trockenen Kontinente, die heutzutage ungefähr ein Drittel der Erdoberfläche einnehmen, beeinflussen ihrerseits die Beschaffenheit der Atmosphäre, besonders ihren Wassergehalt. Derselbe ist von dem Umfang der verdunstenden nassen Oberfläche abhängig, ist deshalb in der gegenwärtigen Periode kleiner, als in den alten Perioden. Die Anwesenheit grosser trockener Erdteile bringt sodann durch die trockenen Luftströmungen Wirkungen in der Atmosphäre hervor, die denen des Ozeans teilweise geradezu entgegenarbeiten und dieselben zum Teil aufheben. In der Hauptsache wird die Behauptung keinem Anstand unterliegen, dass die kontinentale oder vielmehr gemischte Beschaffenheit der Oberfläche der Erde auch ähnliche, gemischte Zustände der Atmosphäre hervorrufe, dass wechselvolle und gemischte Zustände der Trübung und Heiterkeit in ihrem Gefolg auftreten. Anderseits ist nicht zu beanstanden, dass eine rein ozeanische Beschaffenheit der Erdoberfläche durch ihre eigene Gleichförmigkeit, auch gleichförmige Zustände der Atmosphäre begünstigt, welche aber mehr zu einer konstanten Trübheit, als zur wolkenlosen Heiterkeit des Himmels sich hinneigen mussten (Artikel 1).

Wie man sich nun diese Zustände näher vorstellen soll, das ist Sache der Hypothese; aber die Hypothese hat hier eine Berechtigung, vorausgesetzt, dass dieselbe sich innerhalb der Schranken der physikalischen Möglichkeit bewegt. Willkommen ist, dass aus den astronomischen Beobachtungen an solchen Planeten, welche ohne Zweifel in einem jugendlicheren Stadium ihrer geologischen Entwickelung sich befinden, einige Anhaltspunkte sich ergeben, wie man sich die Zustände unseres Planeten in seinen früheren Perioden vorstellen soll. Ferner ist willkommen, dass auch die Beschaffenheit der Organismen der alten Perioden, der Pflanzen insbesondere, einigen Aufschluss darüber zu geben geeignet sind. Ein sumpfiger Boden, trüber Himmel, beträchtliche Regenmengen, Gleichförmigkeit der Temperatur entsprechen ihren Existenzbedingungen am besten (Artikel 2).

Die Annahme einer konstanten Wolkenhülle von den Wendekreisen polwärts ist nun ganz geeignet, solche Dienste zu leisten, dass das ozeanische Klima in allen seinen Eigenschaften zu verstärkter Geltung gelangt (Artikel 3). Die meteorologischen Aufzeichnungen sodann geben die Mittel an die Hand, um den Betrag (Artikel 4) der Verstärkung wenigstens annähernd zu eruieren. Auf diesem

Wege ergeben sich als Mittelzahlen der Temperatur in den alten Perioden für die polaren Gegenden ca. + 14° R., für die mittleren Breiten, genauer für den 45. Breitegrad, ca. + 16° R. und für die Tropen ca. + 20° R. (Tabelle III und Tabelle VI). Hierdurch möchte schon die hauptsächlichste Kluft zwischen dem Klima der Urzeiten und dem der Gegenwart als ausgefüllt betrachtet werden können. Da jedoch ein Zuschuss der inneren Erdwärme und eine Temperaturerhöhung durch die grössere Dichtigkeit der Atmosphäre in den alten Erdperioden nicht ganz von der Hand gewiesen werden können, auch einige Organismen der alten geologischen Perioden eine noch grössere Wärme verlangen, so lässt sich mit Vorbehalt eines gewissen Spielraums, eine Steigerung um ca. 3° R., somit für die polaren Gegenden eine Temperatur von ca. + 17° R., für die mittleren Breiten von ca. + 19° R. und für die Tropen von ca. + 23° R. (Artikel 5) motivieren. Das ist nun eine Temperaturskala, welche den Anforderungen der Paläontologen an das Klima der Urzeiten gut entsprechen dürfte, sowohl was den Grad der Wärme anbelangt, als auch in betreff der Gleichförmigkeit der Temperatur innerhalb der verschiedenen Zonen. — Eine nicht unbeträchtliche Schwierigkeit dürfen wir jedoch nicht mit Stillschweigen übergehen.

Für das Gedeihen der Organismen, der Pflanzen insbesondere, ist nicht bloss ein gewisses Quantum von Wärme erforderlich, sondern auch Licht. Es wurde schon oben darauf hingewiesen, dass Farne und Lycopodien das direkte Sonnenlicht leichter entbehren können, dass ihnen schattige Standorte gut zusagen. Allein in den hohen und höchsten Breiten handelt es sich nicht bloss um abgeschwächtes Licht, sondern um die langen Winternächte, in welchen das Tageslicht ganz fehlt. Die Tertiärzeit bietet in dieser Beziehung schon keine grossen Schwierigkeiten mehr dar. Die zur Tertiärzeit in Spitzbergen lebenden Pflanzen hatten nach Heer sämtlich fallendes Laub; sie waren somit auf einen Stillstand der Vegetation während der Winternacht eingerichtet. Allein das Gleiche kann schon von den Pflanzen der Kreideformation in Grönland und Spitzbergen nicht mehr gesagt werden, so wenig als von den Steinkohlenpflanzen daselbst.

Ob nun die immergrünen Pflanzen dieser Perioden die lange Winternacht ertragen konnten?

Wir beschränken uns darauf, das zu wiederholen, was Heer in seiner Polarflora I. S. 73 darüber sagt: „Es ist bekannt, dass in Petersburg zahlreiche Pflanzen südlicher Zonen in Gewächshäusern

überwintert werden, welche während langer Zeit sehr wenig Licht erhalten; wie denn auch in unseren Breiten die Gewächshäuser wochenlang wegen der strengen Kälte zugedeckt werden müssen. Allerdings leiden darunter die Pflanzen, diejenigen indessen am wenigsten, welche Winterruhe halten. Eine solche Winterruhe halten alle Pflanzen mit fallendem Laub, aber auch manche wintergrüne Bäume, so die Nadelhölzer und unsere Alpenrosen, welche letztere in den Alpen während mehrerer Monate von einem Schneemantel bedeckt, also dem Licht unzugänglich sind."

Auch Arago[1] hebt hervor, dass wegen der Refraktion des Lichts der Sonne und weil erst völlige Finsternis eintritt, wenn die Sonne 18° unter dem Horizont steht, die Polarnächte reduziert werden und bemerkt, dass „in den Polargegenden der Tag nur selten absolut aufhört und die vollständige Nacht von den Beobachtern daselbst fast nicht gekannt ist".

Das Hindernis wegen Mangels an Licht darf somit als ein absolutes Hindernis des Gedeihens der Vegetation in hohen Breiten nicht aufgefasst werden.

Zweites Kapitel.

Erklärung der klimatischen Verhältnisse der jüngeren geologischen Perioden, besonders der Miocänformation.

Erster Artikel.

Verhältniss des Tertiärklimas zu dem der vorhergehenden Perioden.

Wie schon in der Einleitung erwähnt wurde, bieten jene geologischen Perioden, welche auf die Steinkohlenformation zunächst folgen, keine hervorragenden Unterschiede der klimatischen Verhältnisse gegenüber den vorangegangenen Perioden dar. Die Pflanzen und Tiere treten zwar nach und nach vom Schauplatze ab und andere mehr oder weniger nahe stehende Formen treten dafür auf; aber die klimatischen Verhältnisse bleiben sich in der Hauptsache gleich, d. h. die zonenweisen Unterschiede treten auch hier noch nicht hervor, obwohl der Charakter der Pflanzen nach Graf Saporta grössere Wärme und Trockenheit anzeigt.

---

[1] Populäre Astronomie IV, S. 486.

Es folgt daraus, dass die tellurischen Verhältnisse, nämlich ozeanische Beschaffenheit der Erdoberfläche und damit zusammenhängend konstante Bewölkung nicht, oder besser, so wenig sich geändert haben, dass die unbedeutenden Änderungen keinen deutlich wahrnehmbaren Einfluss auf das Klima ausüben konnten. Erst mit der oberen Kreideformation tritt, nicht ganz unerwartet, sofern auch schon in der unteren Kreide eine erste Spur (Grönland) sich eingestellt hatte, eine grössere Zahl der dikotyledonen Pflanzen hervor und zugleich damit ein bemerkbarer Unterschied in der Temperatur der verschiedenen Zonen. Aber erst in der tertiären und zwar miocänen Formation sind namhafte klimatische Unterschiede nachweisbar und zugleich ist jetzt die Flora und beziehungsweise Fauna den lebenden Gattungen sehr nahe stehend, zum grossen Teil mit denselben identisch, so dass eine Vergleichung mit den klimatischen Ansprüchen der Organismen der Jetztwelt sich durchführen lässt.

Unterdessen sind aber auch in den tellurischen Verhältnissen nachweisbar Änderungen vor sich gegangen, durch welche der gesamte Charakter der Erdoberfläche ein ganz anderes Gepräge erhalten hat.

Schon zur Zeit der eocänen Formation hat sich ausgebreitetes Land in den beiden Halbkugeln gebildet. Zeuge davon sind die zahlreichen Landsäugetiere, hauptsächlich Pachydermen. Dazu lichtliebende Landpflanzen mit der Organisation der Dikotyledonen und Monokotyledonen.

Noch besser gekannt ist die miocäne Formation, die in Europa, Asien und Amerika, unter den Polen, in mittleren Breiten und unter dem Äquator zahlreiche Schichten mit versteinerten Organismen zurückgelassen hat.

Pachydermen sind überall verbreitet, dazu Wiederkäuer und Nager etc.; auch die Ausbeute fossiler miocäner landbewohnender Pflanzen vermehrt sich gewaltig.

Das sind lauter sprechende Zeugnisse, dass die tellurischen Verhältnisse selbst, gegenüber den alten Perioden, sich beträchtlich geändert haben müssen. Jene fast einförmige Gleichförmigkeit der tellurischen Verhältnisse und damit des Klimas und auch der Organismen, wie sie in den alten Perioden herrschend war, war nicht dazu bestimmt, dass sie immer und zu allen Zeiten bestehen sollte.

Die Anlage zu Veränderungen in all diesen Beziehungen war von Anfang an vorhanden, nur brauchte es Zeit, bis dieselben sich zur Geltung zu bringen vermochten.

Diese Anlage können wir nach BRONN[1] als die terripetale Entwickelung der Erde kurz bezeichnen.

Die Bewegung der ozeanischen Gewässer griff da und dort die starr gewordene Erdrinde an und schüttete an anderen Stellen Sedimente auf. Stellenweise erhob sich Land über den Meeresspiegel, wenn auch nur wenig. Anderseits drangen die Sickerwasser allmählich immer tiefer in die fest gewordene, langsam erkaltende Erdrinde ein, wodurch der Umfang des Meeres verkleinert, der Umfang des Landes aber vergrössert wurden. Ob und inwieweit auch vulkanische Kräfte im gleichen Sinn gewirkt haben, mag eine offene Frage bleiben. Aber die Anfänge des festen Landes waren noch zu schwach, um eine irgend wahrnehmbare Rückwirkung auf die klimatischen Zustände auszuüben. Die Zeit musste aber kommen, wenn auch ganz allmählich, da die sporadischen Flecken des Festlandes sich zusammenschlossen und die Kontinente ins Dasein traten. Sobald aber festes Land in einer Ausdehnung vorhanden war, dass dasselbe den Namen eines Kontinents verdiente, so konnte dieser Umstand nicht mehr ohne Rückwirkung auf das Klima bleiben.

Die bisherige Gleichförmigkeit musste bis auf einen gewissen Grad aufgehoben werden wodurch in mittleren und höheren Breiten ein Verlust an Wärme verbunden war. Die grosse Gleichförmigkeit und hohe Wärme der alten geologischen Perioden ist ja, wie zuvor ausgeführt wurde, in erster Reihe durch die physikalischen Eigenschaften des allverbreiteten Wassers bedingt, wenn auch nicht durch sie ganz allein.

Mit dem Erscheinen der Kontinente traten aber noch andere Erscheinungen auf, welche die Wirkung des festen Landes verstärkten. Die Landwinde, welche zur Ausgleichung des gestörten Gleichgewichts der Lufttemperatur sich erhoben, waren im stande die Wolkenhülle teilweise aufzusaugen und zeitweise zu zerstören. Ohnehin musste die Wolkenbildung in der tertiären Zeit spärlicher sein als in den alten geologischen Perioden, weil die Kontinente weniger Wasserdampf lieferten als das Meer, das zuvor ihre Stelle einnahm. Mit der Zerreissung der zuvor konstanten Dunst- und Wolkenhülle wurde nun die Ungleichförmigkeit des Klimas in den verschiedenen Breiten gesteigert; Zustrahlung und Ausstrahlung fingen an, ihr Spiel energischer zu treiben.

Ein solcher Zustand der Oberfläche der Erde und des Klimas

[1] Untersuchungen über die Entwickelungsgesetze, 1858, S. 351 u. 123.

liegt nach den paläontologischen Untersuchungen zur tertiären Zeit in der That klar vor Augen. Aber einen hohen Grad der Ausbildung haben diese Zustände noch keineswegs erreicht. Die Kontinente waren vielfach noch durchbrochen von Meeresarmen, wie jede geognostische Karte lehrt, oder auch von grossen Süsswasserseen, von welchen die weitverbreiteten Schildkröten und Krokodile Zeugnis geben; überdies war das Land niedrig. Heer nimmt die Meereshöhe der Molasselandschaft mit richtigem Takt, wie uns scheint, auf nicht mehr als 250′ über dem Meeresspiegel an (cf. Urwelt, S. 478). In der 2. Auflage der Urwelt nimmt er dafür 100 m. Die Flüsse hatten wenig Gefäll, das Flussadernetz war wenig entwickelt. Wir können sagen: in der Tertiärzeit waren in der That Kontinente vorhanden, aber sie befanden sich noch im Anfangsstadium ihrer Ausbildung. Im Zusammenhang mit diesen Verhältnissen wird man annehmen dürfen und müssen, dass zwar die konstante Bewölkung der alten Perioden nicht mehr bestand, aber sie mag immerhin noch um ein beträchtliches Mass stärker gewesen sein als heutzutage. Dank den Bemühungen der Paläontologen (besonders Heer's) ist man im stande, von dem Klima der Tertiärzeit (Miocänzeit hauptsächlich) nicht bloss eine allgemeine, immerhin unbestimmte Darlegung zu geben, sondern bestimmte Ziffern aufzuführen, welche ein deutliches, ziemlich scharf umgrenztes Bild desselben erkennen lassen. Schon Bronn hat in seinen Entwickelungsgesetzen S. 198 die klimatischen Verhältnisse der Tertiärzeit dargestellt; allein durch die merkwürdige Ausbeute von fossilen Pflanzen in den höchsten Breiten, deren Untersuchung sich Heer[1] unterzog, haben sich noch viel bestimmtere Resultate ergeben. Hiernach berechnete Heer (im VII. Bande seiner Polarflora) als Minimalbetrag der mittleren Jahrestemperatur zur Miocänzeit für Spitzbergen (78° n. Br.) + 9° C.; für Grönland (70° n. Br.) + 12° C. und für Grinnell-Land (82° n. Br.) + 8° C. Im Beginn seiner Untersuchungen über die polare Flora hatte Heer die Wärme dieser Lokalitäten um einige Grade niedriger geschätzt. Allein schon Graf Saporta machte aufmerksam, dass jene Schätzung ohne Zweifel noch zu niedrig sein werde. Dadurch und durch eigene Prüfung sah auch Heer sich veranlasst, etwas höher zu greifen und mit der Aufstellung der oben angeführten Zahlen befinden sich nun diese beiden Forscher auf dem Gebiete der Phytopaläontologie in vollkommener Harmonie.

---

[1] Flora fossilis arctica. 7 Bände von 1868—1883.

Für die Schweiz (47° n. B.) berechnet sodann HEER die Temperatur der unteren Süsswassermolasse auf 20—21° C., die der oberen auf 18—19° C., somit im Mittel beider auf 19° C. = 15°,20 R. Die tropischen Breiten aber (Sumatra, Java, Borneo) weisen, wenn auch das genaue Alter der Formation, aus welcher die Pflanzenreste stammen, noch nicht ganz sicher gestellt ist, auf eine dem rezenten Klima entsprechende Temperatur hin, nach den übereinstimmenden Untersuchungen von HEER[1], GÖPPERT[2] und GEYLER[3]. Das klimatische Bild der Tertiärzeit, das aus diesen Ziffern entgegentritt, steht schon ziemlich weit ab von dem Klima der Urzeit; es ist durchaus nicht mehr so gleichförmig wie jenes. Es steht aber noch weiter ab von dem Normalklima der Gegenwart, sofern es doch viel gleichförmiger in den verschiedenen Breitegraden ist, als das heutige. Nur in den Tropen selbst stimmen sowohl das tertiäre Klima, als das Klima der ältesten Perioden, als das Seeklima der Gegenwart, sowie auch das Normalklima bis auf eine überraschend geringe Abweichung überein. Relativ am nächsten kommt das Tertiärklima mit dem reinen Seeklima der Gegenwart überein. Allein die Abweichung ist auch hier noch zu gross, wie es anderseits sicher ist, dass zur Tertiärzei die Erdoberfläche keineswegs mehr rein ozeanisch war. Wenn die Anforderung gestellt wird, auch für das Tertiärklima den genaueren Nachweis der Übereinstimmung der Ergebnisse der paläontologischen Untersuchungen von HEER und SAPORTA einerseits und jenen Grundsätzen anderseits zu liefern, welche bei dem Klima der alten Perioden von uns in Anwendung gebracht wurden (cf. Tabelle III, V, VI), so kann auch hier ein ganz befriedigendes Resultat erzielt werden.

Da in der Tertiärzeit die gesamte Temperatur gegenüber jener in den alten Perioden schon eine Abschwächung erlitten hat, so muss in die Kolonne B unserer Tabelle III irgend ein geringerer Betrag aufgenommen werden. Nimmt man nun hier den halben Betrag an, der zu der Temperatur des Seeklimas der Gegenwart hinzuzufügen wäre, so ergibt sich folgende Tabelle VII als Temperaturskala der Tertiärzeit:

[1] Fossile Pflanzen von Sumatra. S. 9.
[2] Tertiärflora von Java. S. 65.
[3] Fossile Pflanzen von Borneo. S. 69.

Tabelle VII.

Breitegrad.	A. Temperatur des Seeklimas der Gegenwart nach SARTORIUS.	B. Halber Betrag der Differenz gegenüber dem Normalklima auf Tabelle I, Kol. 4.	C. Addition von A. und B. annähernd Klima der Tertiärperiode.
90°	+ 0°,84 R.	+ 7°,02 R.	circa + 7°,50 R.
80°	+ 1°,49	+ 6°,34	" + 7°,50
70°	+ 3°,36	+ 5°,23	" + 8°,50
60°	+ 6°,20	+ 3°,50	" + 9°,50
50°	+ 9°,68	+ 2°,70	" + 12°,50
45°	+ 11°,50	+ 1°,95	" + 13°,50
40°	+ 13°,33	+ 1°,21	" + 14°,50
30°	+ 16°,70	— 0°,05	" + 16°,65
20°	+ 19°,34	— 0°,43	" + 19°
10°	+ 20°,89	— 0°,20	" + 20°
0°	+ 21°,14	— 0°,03	" + 21°

Wenn man nun mit dieser Temperaturskala, die von HEER und Graf SAPORTA ermittelten Ziffern vergleicht, so ergibt sich eine zufriedenstellende Übereinstimmung: Die Ziffer für die Temperatur von Grinnell-Land (+ 8° C.), Spitzbergen (+ 9° C.) und Grönland (+ 12° C.); sodann für die Schweiz (+ 18° C.) stimmt mit den in der Tabelle gegebenen Werten in RÉAUMUR'schen Graden so befriedigend überein, dass es sich nur um Differenzen von 1° mehr oder weniger handelt. Nicht minder gut stimmen die Werte in den niedrigen Breiten.

Der Charakter des Klimas zur mittleren Tertiärzeit lässt sich kurz so zusammenfassen:

1. Das ozeanische Klima der alten Perioden war zur mittleren Tertiärzeit zurückgedrängt, aber noch nicht so weit, dass schon ein Kontinentalklima im heutigen Sinne hätte Platz greifen können.

2. Auch die konstante Bewölkung der alten Perioden wurde unterbrochen, aber nicht in dem hohen Grade wie heutzutage. Durch das Zusammenwirken dieser beiden Umstände wurde ein Klima hervorgerufen, welches zwischen dem sehr gleichförmigen und warmen der alten Perioden und zwischen dem ungleichförmigen und abgekühlten der Gegenwart einigermassen in der Mitte steht, jedoch so, dass es noch mehr zu den Eigenschaften der alten Perioden Annäherung zeigt, als zu denen der Gegenwart. Ein Zuschuss von Wärme durch das Erdinnere ist in diesen jungen Perioden, wenn auch nicht absolut abzulehnen, aber so unbedeutend, dass man von ihm ganz absehen kann. Sobald aber die tellurischen Zustände in der bisherigen

Richtung sich noch weiter entwickelten, als ungefähr zur mittelmiocänen Periode geschehen war, so mussten auch die klimatischen Differenzen noch schärfer hervortreten.

Zweiter Artikel.

Klimatische Zustände gegen das Ende der Pliocänzeit.

Während der Pliocänzeit haben die Kontinente ihre Gestalt und ihren Umfang gewonnen, wie sie in der Gegenwart noch bestehen, wenn auch nicht in allen Einzelheiten, so doch in der Hauptsache. Infolge dieser Änderung der tellurischen Verhältnisse, treten nun aber auch klimatische Abänderungen ein, welche das Ende der Tertiärzeit von ihrem Anfang und ihrer Mitte beträchtlich unterscheiden. Die paläontologischen Untersuchungen über diesen Abschnitt der Tertiärformation sind leider nicht ganz so ergiebig, wenigstens nach dem gegenwärtigen Stand, als über die früheren Abteilungen. Der Grund mag in der Natur der Sache selbst liegen. Zeiten der Hebung, wie die pliocäne Periode offenbar in hervorragender Weise war, sind weniger geeignet zur Schichtenbildung und zum Einschluss von Organismen in dieselben, als Zeiten der Senkung oder des ruhigen Beharrens. Wo aber Untersuchungen angestellt werden konnten, z. B. in England, lassen sich starke Veränderungen der Temperaturverhältnisse während dieser Zeit daraus abnehmen. Die pliocäne Formation (Crag) daselbst, lässt nach Wood[1] bei den Meeresmuscheln von Stufe zu Stufe ein Abnehmen jener Arten erkennen, welche einem wärmeren Klima angehören; dagegen ein stetiges Zunehmen jener Arten, die kälteren Gegenden zu eigen sind, so dass zuletzt die Meeresbevölkerung schon am Schlusse der pliocänen Zeit einen Charakter annimmt, der heutzutage nur in höheren Breiten gefunden wird. Es wurde sogar der Versuch gemacht, Pliocän und Eiszeit geradezu zu identifizieren, was jedoch von anderer Seite abgelehnt wurde (cf. Rütimeyer: Pliocän und Eiszeit). Dagegen wird die von Heer vertretene Ansicht (Urwelt, 2. Auflage, S. 659), dass die Temperatur am Ende der pliocänen Zeit mit jener der Gegenwart gleich zu setzen sei, der Wirklichkeit am meisten entsprechen. Daraus ergibt sich unmittelbar, dass der stärkste relative Absprung der Temperaturerniedrigung zwischen die Miocänzeit und das Ende der Pliocänzeit fällt. Heer verzeichnet für mittlere Breiten (Schweiz) der obermiocänen Zeit 18°,5 C., für das Ende der Pliocänzeit nur noch 9° C.,

[1] cf. Lyell, Alter des Menschengeschlechts, S. 162.

ein Abstand, der grösser ist als je vorher und nachher zwischen zwei zeitlich einander so unmittelbar nahe gerückten Perioden (cf. Urwelt, 2. Auflage, S. 659). Befremden können solche klimatische Zustände nicht. Weil sich die tellurischen Verhältnisse während der Pliocänzeit beträchtlich änderten, so mussten auch die klimatischen Zustände im Sinne derselben sich beträchtlich abändern; der kontinentale Charakter des Klimas konnte und musste jetzt in einer gewissen Schärfe in die Erscheinung treten. Letzterer zeichnet sich aber aus sowohl durch Ungleichförmigkeit der Temperatur in verschiedenen Breiten und in verschiedenen Jahreszeiten, als auch durch einen Rückgang der mittleren Jahreswärme in den mittleren und hohen Breiten, wie das schon in den vorangegangenen Artikeln auseinandergesetzt wurde. Wenn Dove auf S. 25 seiner öfter citierten Schrift bemerkt, dass die Temperatur der Erdoberfläche sich im allgemeinen bei jeder Vermehrung des festen Areals vermehrt haben müsse, so ist uns diese Äusserung unverständlich. Wir verweisen jedoch auf die Angabe der nämlichen Schrift, S. 22, welche ganz richtig sagt: „dass das feste Land in der heissen Zone im Jahresmittel heisser wird, als das Meer, in gemässigten und kalten Zonen aber das Umgekehrte stattfindet.“

Es musste somit das pliocäne Klima nicht bloss von den alten geologischen Perioden stark abweichen, sehr annähernd wie das heutige Klima, sondern auch von dem der anfänglichen und mittleren Tertiärzeit selbst, während welcher der kontinentale Charakter erst in seinen Anfängen sich befand. Die Kontinente, die am Ende der Pliocänzeit vorhanden waren, vermochten sich ihr spezifisches Klima selbst zu schaffen. Das feste und trockene Land ist ein vielmal besserer Wärmeleiter als das Wasser, man nimmt an, fünfmal besser. Dass daraus grössere Ungleichförmigkeit der Temperatur entstehen müsse, leuchtet ein. Sodann sind die trockenen Landwinde jetzt, seitdem die kontinentale Beschaffenheit der Erdoberfläche noch schärfer hervorgetreten ist, noch weit mehr geeignet, die Wolkenhülle zu zerreissen und der Ausstrahlung und Zustrahlung freien Pass zu gewähren. Dass aber in mittleren und höheren Breiten der Effekt der Ausstrahlung überwiegen musste, lehrt eine einfache Betrachtung. Die Zustrahlung von der Sonne her ist in diesen Breiten schon an sich wegen des schiefen Auffallens der Sonnenstrahlen geschwächt; dagegen hat die Ausstrahlung überall mit keinem schiefen Winkel zu schaffen und kann sich in ungeschwächter Kraft auch in hohen Breiten vollziehen, so dass sich bei dem vorherrschend

heiteren Himmel des kontinentalen Klimas ein Überschuss der Ausstrahlung in höheren Breiten ergeben muss, was gleichbedeutend ist mit einem Defizit an Wärme. Hierzu kommt der klimatische Einfluss, der sich aus den Unebenheiten der Erdoberfläche (Gebirgen) ergab, und sich in dieser letzten Zeit der Tertiärformation vorzüglich einstellte. Die Gebirge trugen wesentlich dazu bei, das Klima nicht bloss ungleichförmiger, sondern auch kälter zu machen. Da jedoch dieselben über die Kontinente hin sehr unregelmässig zerstreut sind und unter sich in Höhe und Ausdehnung sehr bedeutend abweichen, so ist es sehr schwierig, hierfür eine bestimmte Ziffer anzuführen und dieselbe von der Wirkung des kontinentalen Klimas allein (auch ohne Gebirge) auszuscheiden. Es ist um so unthunlicher darauf einzugehen, als die Geographen und Meteorologen, in Würdigung der durch die gebirgigen Erhebungen verursachten Unregelmässigkeiten der Temperaturverhältnisse, eine Reduktion auf die Meeresfläche zur Anwendung zu bringen sich zum Grundsatz gemacht haben. Immerhin sieht man, dass auch in den Unterabteilungen der Tertiärformation der Satz sich bestätigt, der unserer ganzen Auffassung zu Grunde liegt, dass die klimatischen Verhältnisse wesentlich mit der tellurischen Oberflächenbeschaffenheit zusammenhängen.

Sodann ist aber noch ein dritter Umstand zu beachten, der wohl der wichtigste von allen sein dürfte. Wie das Klima zu Ende der Pliocänzeit dem heutigen Klima in der Hauptsache gleichzusetzen ist, so wird dazumal, wie heutzutage, in mittleren und höheren Breiten der Charakter der Niederschläge ebenfalls der gleiche gewesen sein; d. h. durch einen guten Teil des Jahres hindurch werden die Niederschläge in der festen Form des Schnees erfolgt sein. Eine Schneedecke lagerte sich auf weite Räume während des Winters längere oder kürzere Zeit auf der Erde nieder. Für die wärmere Jahreszeit erwuchs nun aber die nächste uud unvermeidliche Aufgabe, den Schnee wegzuschmelzen, bevor eine positive Erwärmung erfolgen konnte. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass durch diese Leistung eine Abminderung der mittleren Jahrestemperatur stattfinden musste, sowohl gegenüber den alten Erdperioden, welche diese Erscheinung überhaupt nicht kannten, als auch gegenüber der Molasseperiode, wo dieselbe vielleicht in der Nähe der Pole aber nur auf engem Raum eine schnell vorübergehende Erscheinung gewesen sein konnte.

Die Kondensationswärme bei der Krystallisierung des Schnees

dürfen wir als einen Ersatz für diesen Verlust an Wärme nicht in Anschlag bringen. Eine einfache Betrachtung über die Regionen, in welcher das Schmelzen des Schnees einerseits und das Krystallisieren desselben anderseits stattfindet, wird darüber genügendes Licht verbreiten. Das Abschmelzen der Schneedecke geschieht unmittelbar an der Oberfläche der Erde selbst. Die hierzu erforderliche Wärme wird entnommen jenen Luftschichten und jenen Sonnenstrahlen, welche ohne diese Leistung direkt auf die Erhöhung der Temperatur der Erdoberfläche einwirken würden. Die Erstarrung des Schnees aber findet in hohen Regionen der Luft statt, welche mit der Oberfläche der Erde jedenfalls in keinem unmittelbaren direkten Kontakt stehen; die Kondensationswärme zerstreut sich im freien Himmelsraum, während die zum Schmelzen des Schnees erforderliche Wärme aus der unmittelbaren Nähe der Erdoberfläche entnommen wird. Dadurch entsteht ein weiterer sehr hoch anzuschlagender Verlust an effektiver, den Organismen sonst zu gut kommender Wärme der Erdoberfläche von 79¼ Kalorien.

Dieser enorme Verlust von effektiver Wärme beim Abschmelzen des Eises und Schnees zu Wasser ist durch die genauesten physikalischen Experimente festgestellt und fällt so schwer in das Gewicht für die Änderung des tellurischen Klimas, dass Woeikof sicher ganz im Recht sich befindet, wenn er diese physikalische Erscheinung geradezu als Prinzip zur Erklärung der sog. Eiszeit in Anwendung bringt (cf. Klimate der Erde I. Bd., S. 57), unter Ablehnung aller aussertellurischen Ursachen, wie auch von unserer Seite schon vor einer Reihe von Jahren wiederholt geschehen ist (cf. Württ. Jahreshefte 1875, S. 121; 1881, S. 92 und Abhandlungen der Senckenbergischen Gesellschaft 1884, S. 348, 393).

Hiermit sind drei Faktoren namhaft gemacht, die kontinentale und die gebirgige Beschaffenheit der Erdoberfläche und dazu die Erscheinung des Schnees, welche zusammenwirkend wohl im stande waren ein so gewaltiges Resultat hervorzurufen, wie dasselbe in der Abminderung der Temperatur seit der Molassezeit in mittleren Breiten von 18°,50 C. auf 9° C. sich darstellte. In der That wird in keiner anderen geologischen Periode ein Zusammentreffen so mannigfacher und energischer Umstände nachgewiesen werden können, welche eine solche Abänderung des zuvor im Besitz befindlichen Klimas zu bewirken im stande waren. Eine weitere wichtige Frage möchte nun die sein: ob nicht die abgeänderten klimatischen Verhältnisse von sich aus im stande waren, auf die Umgestaltung der Erd-

oberfläche zurückzuwirken? Mit anderen Worten, ob nicht ein Verhältnis der Wechselwirkung zwischen klimatischen und tellurischen Zuständen sich einstellen konnte, und ob dieses Verhältnis sich nicht schon zur pliocänen Zeit selbst geltend gemacht habe?

Wir glauben diese Frage mit Bestimmtheit bejahen zu können; wollen jedoch, um den Gegenstand nicht verwickelt zu machen, die Besprechung desselben aufschieben und späterhin abgesondert behandeln. (cf. II. Abteilung, Kapitel 2, 3, 6.)

Drittes Kapitel.

Erklärung der klimatischen Verhältnisse der Quartärzeit.

Als Erbschaft aus der Tertiärzeit empfing die quartäre Zeitperiode nicht bloss die Kontinente im Gegensatz zu der mehr oder weniger ozeanischen Beschaffenheit der früheren Perioden, sondern auch die Gebirge. Diese letztere Seite ist es, welche der quartären Periode ihr spezifisches klimatisches Gepräge verleiht, und die deshalb noch näher in Betracht zu ziehen sein wird. Ein ausgedehnter Kontinent vermag, auch wenn er eine niedrige Lage über dem Meer einnimmt, ein exzessives Klima hervorzurufen und, wenn dasselbe sich in hohen Breitegraden befindet, so wird auch das Jahresmittel der Temperatur tief herabgedrückt; aber die Erscheinung der Gletscher wird hierdurch allein noch nicht hervorgerufen.

Sibirien hat nach Middendorf[1] trotz seiner sehr tiefen jährlichen Durchschnittstemperatur keinen bleibenden Schnee und keine Gletscher, weil die Sommerwärme im stande ist, den Schnee wegzuschmelzen. Middendorf äussert sich aber, „dass eine nur unbedeutende Hebung des Taymirlandes um einige hundert Fuss oder auch das Vorhandensein eines einzigen Gipfels in einem Gebirgsstock, der sich um ein paar tausend Fuss erhöbe, hinreichend wäre, um das Land in eine Schneewüste zu verwandeln. Nur ein wenig mehr Seeklima, d. h. nur gedämpfte Sommermonate und einzelne Schneetriften würden übersommern, Kerne hinterlassend, welche, begünstigt durch einen darauffolgenden kalten Sommer, sich grossartig entwickeln und ihrerseits auf das Klima zurückzuwirken vermöchten“.

[1] Reise in den äussersten Osten und Norden Sibiriens, IV, S. 435.

Die Vorbedingung der Entwickelung der Gletscher, besonders jener grossartigen Gletscher, wie sie in der quartären Zeit erscheinen, sind hiernach die Gebirge, auf welchen sich die Massen von Schnee ansammeln können.

Es wurde schon in einer früheren Abhandlung[1] der Zusammenhang der Gebirge und der Gletscherzeit zu erörtern gesucht und möchten wir uns deshalb hier darauf beschränken können, nur die wichtigsten Gesichtspunkte hervorzuheben.

Die Gebirge erheben sich in Regionen des Luftkreises, in welchen wegen der Dünnheit der Luft und ihrer dadurch verminderten Wärmekapazität die Niederschläge, je nach der geographischen Breite, einen grossen Teil des Jahres in fester Form (Schnee) erfolgen. Die geringe Wärme des kurzen Sommers ist nicht im stande den Schnee ganz zu bewältigen, es bleibt ein Rest übrig und so bildet sich die Zone des sogenannten ewigen Schnees. Man mag sich nun die Entstehung der Gebirge denken, wie man will, soviel wird sicher sein, dass dieselben anfänglich weniger zerstückelt, mehr in sich geschlossen waren, als heutzutage. Dass die Menge von Thälern, insbesondere von Querthälern, erst nachträglich durch die Erosion und die mit ihr Hand in Hand gehende Verwitterung entstanden sind, aus dem Gebirge herausmodelliert wurden, scheint bei dem heutigen Stand der Untersuchung kaum mehr zweifelhaft zu sein; wobei jedoch selbstverständlich durchaus nicht ausgeschlossen ist, dass sich die erodirenden Gewässer die vorhandene Terrainbeschaffenheit (Risse und Spalten im Gebirge) möglichst zu Nutzen machten und sich an dieselben anschlossen.

Die Anfänge der Erosion können gleichzeitig mit der Erhebung der Gebirge begonnen haben. Sobald durch die Unebenheiten da und dort das Wasser ein stärkeres Gefäll erlangte, fing dasselbe an, Rinnen in das Gebirge zu graben. Aber diese Rinnen (Thäler) nahmen ihren Anfang am Fusse des Gebirges und zogen sich langsamer oder rascher von unten nach oben, von aussen nach innen. Die Erosion konnte der Hebung nicht vorauseilen und auch nicht ganz gleichen Schritt mit derselben halten, weil das zu erodierende Objekt (der Berg) notwendig vorher sein muss, als das Produkt der Erosion (das Thal). So brach sich die Erosion von dem Fuss und dem äusseren Abhang ausgehend, nach oben und nach der Mitte des Gebirgs Bahn mit ungleicher Geschwindigkeit, aber immerhin langsamer

[1] Württ. naturwissenschaftliche Jahreshefte, 1875, S. 85.

als die Hebung. Ist ja heutzutage die Erosion in Gebirg und Hügelland auch da, wo keine Spur von rezenter Hebung vorhanden ist, immer noch in Thätigkeit und lässt sich bei genauer Beobachtung der Fortschritt derselben von Jahr zu Jahr erkennen. Das Wasseradernetz fährt immer noch fort sich auszubilden und neue Thäler und Thälchen untergeordneten Ranges in diagonaler oder rechtwinkeliger Richtung auf das Hauptthal zu bilden. Das langsamere oder raschere Fortschreiten der Erosion durch die fliessenden Wasser, womit die Verwitterung Hand in Hand geht, hängt von verschiedenen Umständen ab, besonders von der Beschaffenheit der Schichten und Schichtenstellung.

Selbst in dem leicht möglichen Falle, dass alte, d. h. vorangegangenen Erdperioden, oder auch einem früheren Abschnitt der gleichen Periode angehörige Thalwege, durch eine spätere Hebung mit emporgehoben wurden, werden sich die Verhältnisse der Erosion zur Hebung nicht wesentlich ändern. Sobald nämlich der alte Thalboden von der Hebung mitergriffen wurde, veränderten sich die Terrainverhältnisse so, dass derselbe nicht mehr die Funktionen als Thalweg verrichten konnte. Der alte Thalweg war als solcher ausser Kurs gesetzt und musste warten, ob und wann und wieweit bei den veränderten Terrainverhältnissen der Fortgang der Erosion ihn ergriff oder bei Seite liegen liess.

Aus all diesem folgt, dass auf den inneren Zügen jener Gebirge, welche die Grenze des ewigen Schnees erreichten, die im Lauf der Jahre niedergehenden Schneemassen sich eine Zeit lang ansammeln mussten. Es bedarf kaum einer Rechnung, um zu zeigen, dass in Zeiträumen, welche in geologischem Sinne sehr klein sind, schon in einigen Jahrhunderten sich gewaltige Schneemassen angesammelt haben mussten. Erst, wenn die der Hebung nachfolgende Erosion tiefer und tiefer ihre Querthäler eingefurcht hatte und gegen die inneren Gebirgszüge vorgerückt war, trat die Möglichkeit einer Abfuhr der Schneemassen durch die Querthäler ein. Sie flossen nun ab als Gletscher und die sämtlichen alten grossen Gletscher der Alpen flossen nur durch Querthäler ab.

Ob die Gletscher selbst direkt zur Ausfurchung und Ausweitung der Thäler kräftig mitgewirkt haben, ist nach den Beobachtungen der alpinen Geologen zweifelhaft. Aber ihre indirekte diesbezügliche Wirkung ist sicher sehr hoch anzuschlagen. Dieselben schafften den Gebirgsschutt weg und führten ihn weit fort in Gegenden ausserhalb des Gebirges. Dadurch wurde für die Verwit-

terung immer neues Feld hergestellt, während ohne sie, durch die Schutthalden, die Thalwände vor tiefer gehender Verwitterung geschützt worden wären. Dass diese Thätigkeit der Gletscher schwer ins Gewicht fällt, wird alsbald klar, wenn man die ausgedehnten, mehrere hundert Fuss mächtigen Schuttmassen betrachtet, welche die alten Gletscher über ganze Landstrecken, über Hunderte von Quadratmeilen hin transportiert haben.

Die Gletscher flossen durch die Querthäler in die Niederungen herab; aber die Wärme der Niederung war offenbar nicht im stande dieses seit vielleicht manchen Jahrhunderten angesammelte Material alsbald zu bewältigen und zu schmelzen. Sie breiteten sich am Fusse des Gebirges in der Ebene fächerförmig aus. Die bisher in der Ebene lebende Fauna und Flora wurde verdrängt und klimatische Zustände hervorgerufen, auch in der Ebene, die durch Fernwirkung auf benachbarte Mittelgebirge auf so kräftige Weise sich äussern konnte, dass auch auf diesen eine Linie des ewigen Schnees und Gletscherbildung ins Leben treten konnte. Für die Nachbarschaft des Rheinthalgletschers sind hier zu erwähnen: der Jura, die Vogesen und der Schwarzwald. In dem Fall aber, dass die Gletscher sich in das Meer ergossen, strandeten die Eisberge in vielleicht erst grosser Entfernung, überall die klimatischen Zustände verschlimmernd. So war es möglich, dass weithin in Gegenden, die ihrer Lage nach zuvor eines vielleicht schon mehr oder weniger kontinentalen, aber immerhin gemässigten Klimas, teilhaftig waren, eine Umänderung der klimatischen Verhältnisse sich vollzog, die man mit Recht mit dem Namen der Eiszeit belegte.

Viele Geologen sehen sich aus Gründen der Lagerung und der eingeschlossenen organischen Reste veranlasst, eine doppelte Eiszeit, unterbrochen durch eine interglaziale Periode (Utznach) anzunehmen. Für Norddeutschland wird von Dr. A. Penck[1] eine wenigstens dreimalige Wiederholung und Unterbrechung verlangt, eine Zahl, die in neuester Zeit von ihm auch auf Bayern ausgedehnt wird[2].

Es kann sich bloss fragen, ob diese Erscheinungen unter dem Gesichtspunkt einer selbständigen geologischen Unterabteilung aufgefasst werden dürfen und müssen, oder aber unter dem Gesichtspunkt von Schwankungen in der Abwickelung des Prozesses, welcher in seinen hauptsächlichsten Zügen dargestellt wurde. Unsere

[1] Zeitschrift der deutschen geolog. Gesellschaft, 1879, III. Bd., S. 117.

[2] Vergletscherung der deutschen Alpen, 1882.

Auffassung legt den letzteren Gesichtspunkt näher. Die Entstehung der Gebirge, sei es durch Faltung oder durch irgend eine andere Ursache, war nicht Sache eines Moments, trat auch sicher nicht ausschliesslich nur in einer einzigen Periode ein, obwohl dem Ende der tertiären Zeit eine hervorragende Bedeutung zufällt; sie mag in manchen Gegenden der Erde schon früher angefangen haben und setzte sich jedenfalls durch die quartäre Zeit hindurch noch da und dort fort.

Bedeutende Niveauschwankungen in England und Amerika während der quartären Zeit legen davon bestimmte Zeugnisse ab. Durch die fortgesetzte Faltung oder Hebung wurden nun bald da bald dort die schon eröffneten Wege zur Abfuhr des Schnees oder zum Abfluss der Gletscher verstopft. Die weitere Abfuhr geriet vielleicht auf längere Zeit ins Stocken, oder traten Senkungen selbst unter den Spiegel des Meeres ein. In der Zwischenzeit konnte nun da und dort ein gelinderes Klima sich geltend machen, weil die Ursache der Verschlechterung des Klimas mehr oder weniger vollständig, auf kürzere oder längere Zeit beseitigt, wenigstens in die Ferne gerückt war.

Sobald aber durch die Erosion wieder neue Bahnen gebrochen waren, so begann auch wieder der Prozess der Entladung der indessen im Gebirge wiederholt angesammelten Schneemassen mit all seinen begleitenden Erscheinungen.

Wollte man aber den durch Beobachtung an mehreren Orten (cf. Heer: Urwelt. 2. Auflage, S. 574) nachgewiesenen Temperaturschwankungen innerhalb der Quartärzeit die Bedeutung einer allgemein verbreiteten geologischen Unterabteilung zuerkennen, so würde man dadurch auf einen ganz anderen prinzipiellen Standpunkt hingedrängt; auf jenen Standpunkt, der eine fortlaufende Reihe abwechselnd warmer und kalter Perioden durch die ganze Zeit der Entwickelung der Erde hindurch fordert (Croll). Da jedoch die paläontologischen Untersuchungen hiermit keineswegs im Einklang stehen (cf. Heer: Urwelt. 2. Auflage, S. 668), so wird es misslich sein, auf diese Auffassung sich einzulassen, so lange noch die Möglichkeit einer anderweitigen Erklärung besteht. Jedenfalls gereicht es zum Nachteile dieser Theorie, dass die Vertreter derselben die Zahl der Eiszeitperioden in sehr verschiedener Weise anzugeben sich veranlasst sehen. Dass Dr. Penck für Norddeutschland und Bayern drei verschiedene Vergletscherungen verlangt, wurde schon bemerkt. In England aber wollen, nach der Angabe bei Dr. Schmick (cf. Sonne

und Mond als die Bildner der Erdschale, S. 90), zwischen den Forestbeds und heute nicht weniger als fünf warme Zwischenperioden gezählt werden. Ferner wird von Schmick ein Beispiel aus Schottland (nach Croll) mitgeteilt (l. c. S. 91): „dass der Bohrer innerhalb einer Tiefe von 86 Fuss nicht weniger als 6 Schichten mit Gletscherblocklehm, wohlgeschieden durch Flusssandschichten; in zwei Fällen 5, in einem Fall 4, in zehn Fällen 3, in fünfundzwanzig Fällen 2 Blocklehmlagerungen, jedesmal klar getrennt durch Flusssand und Kieslager“, erreichte.

Man kann daher sicher sein, fügt Schmick hinzu, „dass, wenn der Blocklehm irgendwo sechsteilig ist, er es allenthalben sein müsse, obschon die Trennung nicht überall festgestellt werden kann; ja es liegt die Wahrscheinlichkeit nahe, dass die Sechsteiligkeit nicht einmal die höchste Zahl ist.“

Ferner hat man sich bemüht, sichtlich um der Theorie von der periodischen Wiederkehr der Eiszeiten zu genügen, das Vorhandensein von Eiszeiten auch schon in der Molasseformation, im Eocän und noch weiter zurück bis in die alten Formationen zu begründen. Wir verweisen aber auf die Ausführung von Heer in der 2. Auflage seiner Urwelt der Schweiz (S. 668 u. 669), der sich dahin ausspricht, dass selbst in der arktischen Zone nirgends eine Spur davon, weder in den fossilen Pflanzen noch Tieren der dortigen mannigfaltigen Formationsglieder sowohl der alten als der neueren Perioden, zu finden sei. Auch das Vorkommen der seltsamen Blöcke in der Superga bei Turin (Miocän) hat nach Heer keine beweisende Kraft, da die Gesteine, in welchen jene Blöcke sich vorfinden und dieselben umschliessen, Tiere und Pflanzen enthalten, welche durchaus denselben subtropischen Charakter zeigen, wie die übrigen untermiocänen Ablagerungen.

Auch Heim äussert sich am Schlusse seiner Gletscherkunde (S. 560) gegen die Periodizität der Eiszeiten, indem er sagt: „Dass Erscheinungen, wie sie in der Superga oder im Flysch vorkommen, ganz vereinzelt seien und von dem Charakter der Tier- und Pflanzenwelt der betreffenden Schichten in der Deutung auf den Eistransport so wenig unterstützt werden, dass nur derjenige sie für beweisend halten könne, der schon von vornherein von der Periodizität der Eiszeiten überzeugt sei.“

Bei solchem Stande der Sache empfiehlt sich doch der Gesichtspunkt der Oszillationen einer einmaligen Gletscherzeit viel besser, als die Zerlegung in eine fast unabsehbare Reihe von selbständigen

Eiszeiten. Störungen, Verlangsamungen und Beschleunigungen in der Ausbildung und Fortbewegung der Gletscher sind aber auch noch aus anderen Gründen als unabwendbar zu erkennen. Wenn es richtig ist, dass der Austritt der angesammelten Schneemassen aus dem Gebirge und ihre Vorwärtsbewegung erst durch die von aussen nach innen erfolgende allmähliche Erosion der Querthäler ermöglicht wurde, so musste notwendig der Gletscher sich ruckweise vorwärts bewegen. Mit der Durchschneidung jeder weiter nach einwärts liegenden Kette des Gebirges wurde wieder ein neues Längsthal eröffnet, welches nun seinen angesammelten Vorrat von Material ablassen konnte. Aber bis zur Eröffnung des nächstfolgenden Längsthals durch Erosion verstrich ein Zeitraum, während dessen nicht die gleichen Massen von Material stetig abgingen. Die Fortbewegung des Gletschers wurde dadurch verlangsamt oder geriet ins Stocken und erhielt erst wieder einen starken Anstoss, wenn eine neue weitere nach innen gelegene Gebirgskette eröffnet wurde. Jedes grössere Querthal in den Alpen und anderwärts, durch welches in der Quartärzeit sich ein Gletscher hinbewegte, wird auch eine grössere oder kleinere Anzahl von Längsthälern oder Längsketten des Gebirges durchschnitten haben. Und selbst das in den Längsthälern und an ihren Gehängen angesammelte Material hatte keineswegs eine so offene Bahn, dass dasselbe in ununterbrochenem und gleichmässigem Erguss in die Querthäler vorrücken konnte. Auch innerhalb der Längsthäler selbst waren Hindernisse mannigfaltiger Art, Biegungen, Verengungen und Unebenheiten zu überwinden, so dass Störungen des gleichmässigen Fortganges unvermeidlich waren. Nachweisbar werden aber diese Störungen nur in seltenen und ausnahmsweisen Fällen sein, da die schliesslich doch erfolgte Besitznahme des Terrains durch die Gletscher ihre Spuren in den meisten Fällen verwischte.

Es ist hier nicht der Ort, spezielle Beobachtungen über Lagerungsverhältnisse anzuführen. Aber wir könnten solche aus dem Nordrand des Rheinthalgletschers (bei Biberach) namhaft machen, woselbst in einer rasch aufeinander folgenden Reihe von Aufschlüssen ganz bedeutende Abweichungen in den Lagerungsverhältnissen vorhanden sind, die unseres Erachtens nicht anders, denn als lokale Abänderungen aufgefasst werden können. Einige Punkte haben wir in den Württ. naturw. Jahresheften 1874, S. 68, namhaft gemacht. Aber auch die Untersuchungen der Schweizer Geologen selbst, welche innerhalb des Molassegebiets der Schweiz Reihen von hintereinander

liegenden Endmoränen nachgewiesen[1] haben, sind ganz geeignet den Beweis zu liefern, dass der Rückzug des Gletschers mehrfachen lokalen Schwankungen unterlag. An solchen Stellen und zu solchen Zeiten, wo die Endmoränen sich anhäuften, erlitt derselbe offenbar Verzögerungen, die sich oft wiederholten. Noch mehr mögen Stillstände stattgefunden haben beim Vordringen der Gletscher, da gerade hier zugleich oft die bedeutendsten Terrainschwierigkeiten zu überwinden waren, die dem Vordringen derselben recht lang dauernde Hindernisse in den Weg gelegt haben mögen.

Die charakteristischen Erscheinungen der Eiszeit sind somit nach dieser Auffassung zunächst an bestimmte, oft verwickelte, lokale Bedingungen gebunden; sie sind eine Folgeerscheinung der ursprünglichen Beschaffenheit des Gebirgs und haben eine grosse räumliche Ausdehnung annehmen können und müssen, aber sie sind ihrer Natur nach nicht universell.

Wir können deshalb dem Grafen Saporta nicht prinzipiell widersprechen, wenn derselbe auf Grund einiger fossilen Organismen der quartären Periode ein wärmeres Klima zuzuschreiben geneigt ist (l. c. S. 122). Die tellurischen Verhältnisse konnten zur Quartärzeit an verschiedenen Orten sehr verschieden gewesen sein. Dort Gebirge, auf welchen sich die Schneemassen ansammelten und schliesslich auf die Ebene hinab entluden; anderwärts aber Ebenen oder Hügelland, welche von dem Einfluss der Gebirge und der daselbst sich vollziehenden Vorgänge so weit entfernt waren, dass dieselben nicht oder kaum merklich davon beeinflusst wurden, während vielleicht erwärmende Einflüsse sich geltend machen konnten. Ein Blick auf die Karte, welche von Professor Rütimeyer[2] zur Veranschaulichung der Verbreitung der alpinen Gletscher in der Quartärzeit entworfen wurde, zeigt auch in der That, dass auf das französische Territorium die Gletscher nur sehr wenig Eingang gefunden haben; es ist nur die Gegend von Grenoble bis Lyon. Deutschland aber wurde nicht bloss in seiner ganzen Breite von Süden her (von den Alpen aus) mit Gletschern weithin überdeckt, sondern gleichzeitig wurde der Norden durch die skandinavischen Eisberge überschüttet und die mitteldeutschen Gebirge und Landstriche in die Mitte genommen. Es konnten somit in dieser Zeit die mannigfaltigsten und nicht selten scheinbar oder wirklich sich widersprechende klimatische Erscheinungen auftreten und sich eine Zeit lang aufrecht erhalten,

[1] cf. Heer: Urwelt. 2. Auflage, S. 543.

[2] Pliocän und Eiszeit. Tafel I.

deren Ausgleichung erst der folgenden Periode, der rezenten Erdperiode, vorbehalten war.

Ein ganz spezielles Interesse nimmt die Erscheinung für sich in Anspruch, dass der Fauna der Quartärzeit vielfach ein nicht zu verkennendes Element von Steppentieren beigemischt ist, das besonders durch die verdienstvollen Bemühungen von Professor Dr. NEHRING bekannt wurde (*Alactaga jaculus*, *Spermophilus* etc.). Dass die Tiere der Quartärzeit für ein rauhes Klima ausgerüstet waren, oder trotzige Raubtiere, die der Rauhigkeit des Klimas einerseits widerstanden, anderseits in Höhlen Schutz suchten und fanden, das ist mit den Vorstellungen, die man sich von dem Klima der Quartärzeit machen muss, ganz im Einklang. Aber auffallend ist ein Steppenklima in Gegenden von Zentraleuropa, die heutzutage ganz anders geartet sind. Ohne Bodenschwankungen zu Hilfe zu nehmen, wird man sich nicht leicht eine Vorstellung davon machen können. Wenn man sich aber davor nicht scheut, so wären die Gegenden um das heutige Dänemark ins Auge zu fassen. Dort greifen eine Anzahl von sehr seichten Meeren ineinander (Ostsee, Nordsee, Belt, Kanal), deren mittlere Tiefe nach den einzelnen Berechnungen von Dr. KRÜMMEL (cf. Vergleichende Morphologie der Meeresräume, S. 95 u. 96) auf nicht mehr als 57 m mittlerer Tiefe sich herausstellt. Wenn in dieser Gegend im Laufe der Quartärzeit oder im Anschlusse an sie, wenn auch nur vorübergehend, statt Meer, Land war, so wurden dadurch bedeutende Ländermassen in festen Zusammenhang gebracht: Norwegen und Schweden mit Russland und Deutschland und mit ihnen auch noch Frankreich und England verbunden. Dadurch konnte sich das Klima dieses Länderkomplexes bedeutend ändern und Ähnlichkeit mit dem heutigen asiatischen Klima erreichen. Ob dabei auch der weitere Gesichtspunkt noch von Bedeutung sein könnte, dass durch die Ansammlung der Schneemassen auf gewaltigen Strecken (sogenanntes Inlandeis in Nordeuropa und Nordamerika, sowie Schneeansammlungen auf den meisten Hochgebirgen und sogar Mittelgebirgen in höheren Breiten) ein fühlbarer Teil der gesamten Wassermengen der Erdoberfläche sozusagen suspendiert wurde, latent gemacht wurde, will hier nur berührt, nicht erörtert werden.

Für jene Gegenden Mitteldeutschlands, welche von dem Gletscher selbst nicht okkupiert waren, aber unter dem Einfluss der in Nord und Süd in kolossalem Massstab entwickelten Eismassen standen, beansprucht Herr Professor Dr. v. SANDBERGER[1] eine Temperatur,

[1] Über Ablagerungen der Glazialzeit und ihre Fauna. S. 13, 1879.

wie sie heutzutage Petersburg besitzt, nämlich $3\frac{1}{2}^0$ R., wofür ihm sowohl die Beschaffenheit der Konchylien als der Wirbeltiere den Massstab an die Hand geben. Für Würzburg speziell, mit 8^0 R. Jahreswärme, beträgt sonach die Differenz gegen das heutige Klima eine Abnahme von $4\frac{1}{2}^0$ R.

Ganz nahe übereinstimmend hiermit ist das Resultat, welches von HEER für die Schweiz[1] gewonnen wird. Er nimmt für dieselbe während der ersten Gletscherperiode 5^0 C. und während der zweiten 4^0 C. als mittlere Jahrestemperatur an.

Viertes Kapitel.

Erklärung der klimatischen Verhältnisse der Gegenwart.

Von dem Schluss der quartären Zeit bis zur Gegenwart haben bedeutende Senkungen und Hebungen, welche im stande gewesen wären, das gegenseitige Verhältnis des festen Landes und des flüssigen Elements in grossem Massstab zu ändern, nicht stattgefunden. Die quartären Schichtenkomplexe zeigen, soweit bekannt, überall ungestörte, ursprüngliche, horizontale Lagerungsverhältnisse; kleinere Abweichungen haben nur lokale Bedeutung.

Wenn aber auch die tellurischen Verhältnisse nach dieser Richtung hin eine wesentliche Änderung nicht erlitten haben, so fehlte es doch nach anderer Seite hin nicht an belangreichen Alterationen der in der vorhergehenden Periode bestandenen Zustände.

Im vorigen Kapitel wurde auf die Thätigkeit der Erosion und der dadurch bewirkten Zerstückelung der Gebirge hingewiesen, durch welche die anfängliche Geschlossenheit derselben durchbrochen wurde. Eine langdauernde Ansammlung der Schneemassen war nunmehr nicht mehr möglich. Damit wurde die Erscheinung der Gletscher auf ein bescheidenes Mass zurückgeführt. Die noch vorhandenen Gletscher der Hochgebirge führen das ganze Jahr hindurch den Gebirgsschnee ab und stellen nach den Untersuchungen von TYNDALL selbst während des Winters ihre Thätigkeit nicht ganz ein. Mit solchen zeitlich zerteilten Mengen weiss die Wärme der Niederungen bald fertig zu werden. Die rezenten Gletscherreste werden, mit Ausnahme derjenigen, die in sehr hohen Breiten sich befinden, nach

[1] Urwelt der Schweiz. 2. Auflage, S. 650.

kurzem Lauf in Wasser umgewandelt und setzen als Flüsse ihre Bahn fort.

Hiermit ist eine wesentliche Milderung des rezenten Klimas gegenüber der quartären Zeit gegeben.

Allein eine Rückkehr zu dem warmen und gleichförmigen Klima der alten geologischen Perioden, oder auch nur der Molassezeit konnte nicht stattfinden. Wenn es möglich wäre, dass das feste Land sich soweit erniedrigen würde, wie zur Molassezeit, somit einen sehr wichtigen Teil seiner kontinentalen Beschaffenheit verlieren würde, wenn damit dann auch die Bewölkungsverhältnisse und der Charakter der meteorischen Niederschläge sich in Einklang setzen würden, so würde auch das Klima der Molassezeit wieder in Wirksamkeit treten können. Und wenn die Erniedrigung des festen Landes noch weiter gehen würde, wenn die Kontinente sich auflösen würden, die ozeanische Beschaffenheit der Erdoberfläche wieder weitaus dominierend würde und sich die Bewölkungsverhältnisse damit in Einklang setzen würden, dann könnte auch selbst das Klima der alten Perioden in der Hauptsache sich wieder geltend machen.

Nur das Klima und die Beschaffenheit der Erdoberfläche am Ende der Pliocänzeit bietet einen Charakter dar, welcher mit dem der Gegenwart im Einklange steht. Die Gebirge der Pliocänzeit hatten wohl eine andere Qualität als die der Jetztzeit, es konnten sich dort wegen ihrer grösseren Geschlossenheit die Anfänge zu einer klimatischen befremdenden Umänderung bilden; aber doch nur die Anfänge, denn die volle wirkliche Ausbildung dieser Zustände ist nicht mehr die Pliocänzeit, sondern die Eiszeit selbst. Heutzutage aber vermögen sich nur noch verhältnismässig geringe Reste der grossartigen Erscheinung der Gletscherzeit zu halten. Das Anfangsstadium zur Pliocänzeit und das Endstadium in der rezenten Periode werden, wenigstens was den klimatischen Effekt anbelangt, kaum von einander verschieden sein.

Wie gross und welcher Art die Temperaturdifferenzen gegenüber den früheren Erdperioden seien, findet man durch Vergleichung der jetzt bestehenden Temperatur mit jener, welche sich aus den Fossilresten der früheren Erdperioden annähernd abnehmen lassen. Heer und Graf Saporta haben sich eingehend mit diesen Untersuchungen beschäftigt, wie schon früher hervorgehoben wurde.

Wir haben jedoch gesucht, die Abnahme der Temperatur auch noch auf einem anderen Wege darzulegen. Für das Klima der alten Erdperioden kann man nach Tabelle III und VI unter Hinzufügung

von 3° R., welche in Art. 5 des ersten Abschnitts als eine zulässige nachzuweisen gesucht wurde, in den Hauptzonen annehmen:

für die polaren Gegenden . . ca. + 17° R.
für den 45.° der Breite . . „ + 19° R.
für die Tropen . . . . . . „ + 23° R.

Das Normalklima der Gegenwart aber (Dove) ergibt als einen Mittelwert der nämlichen Zonen (cf. Tabelle I):

für die Polarzone im Mittel . . — 11° R.
für den 45.° der Breite . . . . + 7°,60 R.
für die Tropen . . . . + 21° R.

Die Abminderung der Wärme wäre somit seit den alten geologischen Perioden:

in der polaren Region . . . . . 28° R.
in mittleren Breiten . . . . . . 11°,40 R.
unter den Tropen . . . . 2° R.

der mittlere Durchschnitt der Abnahme in allen drei Zonen ca. 14° R.

Legt man aber die von den Paläontologen auf Grund der Fossilreste gemachten Anforderungen zu Grund, so ergibt sich kein beträchtlich abweichendes Resultat.

Die Paläontologen verlangen, wie früher schon angeführt, dem Wortlaut nach ein gleichmässiges Klima über alle Breiten für die alten Erdperioden im Betrag von ca. 20° R. Somit ergibt sich gegenüber dem Normalklima der Gegenwart eine Differenz von durchschnittlich:

in der Polarzone . . . . 31° R.
unter dem 45.° der Breite . . . . 12°,40 R.
unter den Tropen . . . . 0° R.

beziehungsweise hier eine Zunahme von 1° R.

Der mittlere Durchschnitt der Abnahme in allen drei Zonen beträgt 14°,46 R., somit ähnlich wie oben.

Wir glauben jedoch, dass die Paläontologen selbst kein grosses Gewicht auf eine unter allen Breiten ganz strikt gleichmässige Temperatur selbst nur der alten Perioden legen werden, dass vielmehr die oben in Rechnung gebrachte sehr mässige Ungleichmässigkeit des Klimas sich in manchen Punkten der natürlichen Ordnung der Dinge besser akkommodieren werde. In allen Faunen- und Florengebieten der Jetztwelt kommen ähnliche und noch viel stärkere mittlere Temperaturdifferenzen vor, was nicht hindert, dass der grösste Teil der Pflanzen und Tiere über das ganze Gebiet hin ein gutes Gedeihen findet.

Sodann ist zu beachten, dass, wenn wirklich die Temperatur zwischen Äquator und Polen im strikten Wortsinn eine gleiche gewesen wäre, dann auch die meridionalen Meeresströmungen, welche hauptsächlich auf der Ungleichheit der Temperatur des ozeanischen Wassers in verschiedenen Breiten beruhen[1], in Wegfall gekommen wäre. Auch nach der oben ausgeführten Auffassung ist der Temperaturunterschied keineswegs gross, aber er ist immerhin vorhanden und konnte, beziehungsweise musste eine Strömung zur Ausgleichung desselben, wenn auch in abgeschwächtem Masse, stattfinden. Wenn ferner angenommen wird, dass unter den Tropen die Verdampfung des Wassers so unbehindert wie heutzutage vor sich gehen konnte, während dieselbe unter den höheren und hohen Breiten durch die konstante Wolkenumhüllung behindert wurde und der Zustand einer Übersättigung der Luft mit Wasserdampf sich einstellte, so wurde eine Verminderung des Vorrats an flüssigem Wasser unter den Tropen hervorgerufen, in den hohen Breiten aber ein Überfluss desselben. Auch hierdurch gewann die Strömung einen Anstoss, so dass die Meeresströmungen auch in den alten Perioden doch eine gewisse Energie erreichen konnten.

Aus der oben angeführten Zusammenstellung der Temperaturen geht unmittelbar hervor, dass, wenn man die Gegenwart und die alten Erdperioden mit einander vergleicht, der Betrag und die Abstufung der Wärmeabnahme sich in verschiedenen Breiten sehr verschieden darstellt. Die kleinste Differenz findet sich unter den Tropen; namhaft stärker ist dieselbe in mittleren Breiten, am stärksten in hohen Breiten. Eine derartige Verteilung der Wärme ist ganz charakteristisch und kann nur mit dem Fortschritt der terripetalen Entwickelung der Erdoberfläche in Einklang gebracht werden, sie ist sozusagen der klimatische Reflex des Zurückweichens der ozeanischen Beschaffenheit der Erdoberfläche seit den alten Erdperioden bis zur Gegenwart. Zur Bestätigung dient auch die Vergleichung der Temperatur der Molassezeit mit jener der Gegenwart.

Nach Heer ist zur Molassezeit für Spitzbergen und Grinnell-Land eine mittlere Temperatur vorhanden von $+ 9^0$ C. und 8^0 C. ($= 7^0{,}2$ R. und $6^0{,}4$ R.), während der Parallelkreis von 80^0 Breite in der Gegenwart ein Normalklima von $- 11^0$ R. aufweist; somit zwischen Gegenwart und Molassezeit eine Differenz von ca. 18^0 R. Die Insel Disko (70^0 n. Br.) zeigt in der Tertiärzeit nach Heer $+ 12^0$ C. ($= 9^0{,}60$ R.);

[1] cf. Otto Krümmel: Die äquatorialen Meeresströmungen etc. S. 36.

in der Gegenwart hat der 70.⁰ der Breite eine normale Mitteltemperatur von — 7⁰ R., somit eine Differenz von ca. 16⁰,60 R.

In den mittleren Breiten (Schweiz) gestaltet sich die Wärmeabnahme schon anders. Heer berechnet für die Schweiz zwischen Gegenwart und Molassezeit eine Differenz von 7⁰—9⁰ C. (= 6⁰,40 R.), wobei er eine Reduktion auf 100 m Meereshöhe vornimmt.

Unter den Tropen dagegen lassen sich, soweit die Untersuchungen bisher gediehen sind, keine Temperaturunterschiede zwischen Gegenwart und Tertiärzeit nachweisen.

Es bestehen somit auch hier, zwischen Gegenwart und Molassezeit jene, man darf sagen, typischen Unterschiede und Abstufungen der zonenweisen Wärmeverteilung, nur in abgeschwächtem Grade. Eine in den Hauptzügen ganz übereinstimmende Temperaturskala hat sich schon bei Vergleichung der alten Erdperioden mit der Gegenwart ergeben, nur dort in noch grösseren Distanzen sich bewegend, als zur Molassezeit. Dass in der Tertiärzeit (Miocänzeit) die Unterschiede nicht mehr in solcher Grösse sich darstellen, wie in den alten Erdperioden, steht ganz im Einklang mit der prinzipiellen Anschauung von der allmählichen Umänderung der tellurischen und damit auch der klimatischen Verhältnisse.

Nicht minder steht hiermit in Übereinstimmung die grosse klimatische Ähnlichkeit zwischen dem Ende der Pliocänzeit und der Gegenwart, da in beiden Zeitaltern die tellurischen Verhältnisse der Erdoberfläche schon untereinander ganz ähnlich geworden sind.

Die Paläontologen haben diese klimatischen Zustände nicht bloss in ihren allgemeinen Umrissen erkannt, sondern auch den speziellen Thatbestand mit den Folgerungen, die sich daraus ergeben, scharf genug hervorgehoben. So äussert sich Heer in der 2. Auflage seiner Urwelt (S. 510): „Der Abstand zwischen der miocänen und lebenden Flora ist daher in der arktischen Zone noch viel grösser, als in der gemässigten, so dass nach Norden hin derselbe an Grösse zunimmt.“ Und auf S. 511: „Wir erfahren von diesen Pflanzen (aus Sumatra), dass im tropischen Asien zur Tertiärzeit dasselbe Klima herrschte, wie gegenwärtig; die grossen Änderungen im Klima beschlagen daher nur die aussertropischen Teile der Erde.“ Desgleichen äussert sich Graf Saporta (l. c. S. 124): „es besteht demnach eine Fortbewegung der Wärme in der Richtung der Breitegrade, welche die hohen Temperaturen um so mehr nach Norden vorschiebt, als man in die Vergangenheit zurückgeht. Diese Progression ist natürlich weit fühlbarer, wenn man in die Miocänzeit

gelangt, die dem Pliocän vorausging und selbst einer noch wärmeren Periode folgte, welche als Eocän bezeichnet wird."

Die Eigentümlichkeit der Wärmeverteilung ist somit durch die paläontologischen Beobachtungen auch in den konkreten Verhältnissen der einzelnen Zonen scharf eruiert. Die fernere Frage kann nur diese sein: welches Agens ist im stande eine solche Wirkung hervorzubringen, dass in den verflossenen Erdperioden gegenüber dem heutigen Klima unter den Tropen das Klima keine Änderung erleidet, während dasselbe in mittleren Breiten ziemlich stark, unter den höchsten Breiten aber am stärksten zu gunsten der Wärme sich gestaltet hatte? Ein Blick auf die Tabelle I zeigt ganz deutlich, dass schon durch das ozeanische Klima alle diese Modifikationen in der That hervorgerufen werden, und dass dasselbe nur noch einer graduellen Verstärkung bedarf, um die klimatischen Verhältnisse der früheren Erdperioden darzustellen. Ein anderes Agens aber, das die gleichen Wirkungen hervorzurufen im stande wäre, wird wohl vergebens gesucht werden, es sei denn, dass die Wirkung desselben geradezu auf die des Wassers zurückgeführt werden kann, wie bei der konstanten Wolkenumhüllung von den Wendekreisen an polwärts nachzuweisen gesucht wurde. Auch die BLANDET'sche Hypothese (Merkursonne) wird nicht ausreichen, alle diese Modifikationen in der Verteilung der Wärme zu erklären. Insbesondere wird es derselben nicht gelingen können zu erklären, weshalb gegen die höchsten Breiten zu die Wärmezunahme relativ (gegenüber dem Normalklima) am stärksten sich darstelle. Man mag sich die Beschaffenheit der Sonne vorstellen wie man will, mit dem schieferen Auffallen ihrer Strahlen gegen die Pole zu vermindert sich ihre Kraft in gleichem Verhältnisse und es ist auch in dieser Hypothese kein Faktor gegeben, der diese Wärmeabnahme so modifizieren könnte, wie die paläontologischen Beobachtungen es verlangen. Nur das Wasser des Ozeans, besonders wenn es gegen Ausstrahlung genügend geschützt ist, vermag durch das Hervortretenlassen seiner Eigenschaft der hohen spezifischen Wärme gerade in solchen hohen Breiten zu bewirken, dass die absolute Wärme des Klimas in den höheren und höchsten Breiten sich verhältnismässig viel langsamer vermindert und dass sich dadurch polwärts relativ, dem Normalklima unter gleichen Breitegraden gegenüber, eine stetig wachsende Wärmezunahme ergibt. Auch in den mittleren Breiten wird durch die nämliche Eigenschaft des Wassers eine gleichartige Wirkung hervorgebracht, aber in minder hohem Grade

und unter den Tropen neigt sich die Wirkung desselben zu einer Abkühlung hin, die jedoch so unbedeutend ist, dass Normalklima und Seeklima hier kaum differieren (cf. Tabelle I) und als gleich betrachtet werden können.

Eine solche Übereinstimmung der theoretischen Auffassung mit den paläontologischen Untersuchungen bis auf die konkretesten Züge hinaus, wird bei den anderweitigen Hypothesen vermisst.

Werfen wir einen Blick zurück auf den Gang der Entwickelung und Abänderung der klimatischen Verhältnisse in den verschiedenen Perioden der Erde.

In den alten geologischen Perioden finden wir ein sehr gleichförmiges und warmes Klima über alle Zonen hin; mit der Tertiärzeit hauptsächlich fängt die deutliche zonenweise Ausscheidung der Klimate an; und mit dem Ende der Tertiärzeit (Pliocän) machen sich Zustände geltend, die mit der heutigen Periode nahezu oder ganz übereinstimmen.

Für die alten Perioden haben wir eine Abnahme der Temperatur von dem Äquator bis zu den Polen gefunden, von $+ 24^0$ R. bis $+ 17^0$ R., somit auf jeden Breitegrad durchschnittlich nur $0{,}07^0$ R.

Zur Erklärung dieser klimatischen Beschaffenheit wurde herbeigezogen das reine Seeklima, verstärkt durch eine konstante Bewölkung von den Wendekreisen polwärts. Das Molasseklima ergibt eine Temperaturskala von $+ 21^0$ R. unter den Tropen bis zu $+ 7^0$ R. an den Polen, somit eine Abnahme auf jeden Breitegrad vom Äquator an mit $0{,}16^0$ R. Zur Erklärung dieses Klimas gegenüber den Zuständen der alten Perioden wurde herbeigezogen das Zurückweichen der ozeanischen Beschaffenheit der Erdoberfläche oder die Anfänge der auftauchenden Kontinente, welche auch einen Einfluss auf die Verminderung der Bewölkung ausübten und eine grössere Differenzierung des Klimas hervorriefen.

Das Ende der Tertiärzeit zeigt eine beschleunigte Abnahme der Temperatur, ganz ähnlich wie das heutige Klima, somit von $+ 21^0$ R. am Äquator bis zu $- 13^0$ R. an den Polen; eine Abnahme von $0{,}4^0$ R. auf jeden Breitegrad durchschnittlich vom Äquator zu den Polen, welche Abnahme jedoch sehr ungleichförmig über die verschiedenen Zonen sich verteilt. Die Beschaffenheit der Erdoberfläche hatte am Ende der Tertiärzeit in ihrer gereiften kontinentalen und gebirgigen Beschaffenheit und in ihren meteorischen Niederschlägen (Schnee) einen Charakter angenommen, der mit der heutigen, sowohl

was die Erdoberfläche selbst, als auch die Bewölkung betrifft, in guter Übereinstimmung steht. Die Folge davon ist auch die Übereinstimmung der klimatischen Zustände.

Bis dahin macht die Entwickelung des Klimas den Eindruck, dass dasselbe ganz allein unter der Herrschaft eines Naturgesetzes stehe, nämlich der kontinentalen oder terripetalen Entwickelung der Erde.

Das quartäre Klima (Eiszeit) aber droht in diese gute Ordnung der Dinge eine Störung zu bringen. Es wurde jedoch darauf hingewiesen, dass dasselbe eine Folgeerscheinung der Erhebung der Gebirge sei, auf welchen anfänglich die Schneemassen sich ansammeln mussten. Die Gebirge waren anfänglich ausser stande, wegen ihrer grösseren Geschlossenheit, die angesammelten Schneemassen alsbald und stetig zu entlassen. Die Anhäufung derselben und ihre schliessliche Dislokation war geeignet, aber doch nur vorübergehend, die normale Entwickelung des Klimas zu stören und sehr fremdartige klimatische Erscheinungen hervorzurufen.

Als aber diese Krisis sich vollzogen hatte, so trat das heutige Klima, sich anschmiegend an die vorhandenen Gestaltungen der Erdoberfläche und ihrer Bewölkung, als das letzte Glied in die normale Reihe der klimatischen Entwickelungen ein. Man erkennt ohne Schwierigkeit, dass das rezente Klima, weil es sich an die bestehenden Zustände der Erdoberfläche anschliesst und von ihnen abhängt, entschieden ungleichförmiger und zugleich kälter sein muss, als jenes der alten Erdperioden, welche tellurische Zustände besassen, die der Gleichförmigkeit des Klimas und zugleich der höheren Wärme günstig waren.

Dass dasselbe aber auch die fremdartigen Erscheinungen der Eiszeit abstreifen musste, ergibt sich aus der einfachen Thatsache, dass die anfängliche Beschaffenheit der Gebirge, ihre grössere Geschlossenheit, im Verlaufe der Eiszeit selbst durchbrochen wurde. Am nächsten steht das Klima der Gegenwart dem tertiären Klima, aber noch nicht dem der früheren und mittleren Tertiärzeit, sondern erst dem Ende derselben (Pliocän). In dieser Zeit waren die Zustände der Oberfläche der Erde mit denen der Gegenwart schon sehr nahe übereinstimmend.

Die Ansammlungen der Schneemassen auf den Gebirgen, durch welche später die Eiszeit sich auszeichnete, war erst im Werden und noch wenig vorangeschritten; sie erlangte ihren ganzen Umfang erst während der Eiszeit. Sobald dieselbe eine bedeutende Ausdehnung erlangt hatte, hört die Pliocänzeit auf und beginnt die

Eiszeit. In jenem anfänglichen Stadium, das die Ansammlung der Schneemassen während der Pliocänzeit selbst erreichte, war deshalb auch die klimatische Bedeutung derselben weniger stark. Heutzutage kann die Ansammlung keinen hohen Grad erreichen, wegen der Durchfurchung des Gebirges; in der Pliocänzeit war die Möglichkeit der Ansammlung zwar vorhanden, aber sie selbst hatte thatsächlich noch keinen hohen Grad erreicht, so dass die klimatische Einwirkung derselben in beiden Zeitaltern ungefähr als gleich stark betrachtet werden kann.

Wir glauben, dieses Kapitel nicht abschliessen zu sollen, ohne eine spezielle Vergleichung mit der Theorie von Professor Sartorius von Waltershausen in ihren Hauptpunkten zu geben. Wir sparen diese Vergleichung bis an den Schluss, weil bei jeder wichtigen Phase der Entwickelung des tellurischen Klimas sowohl eine Übereinstimmung als auch eine Divergenz der beiderseitigen Auffassungen hervorzuheben ist.

Sartorius von Waltershausen hat das bedeutende Verdienst, dass er die klimatischen Verhältnisse der Erde prinzipiell und konsequent als von den tellurischen Verhältnissen abhängig und durch dieselben hervorgerufen, auffasst. Diese Grundlage wird unseres Erachtens nicht mehr verlassen werden können. Niemand wird von Sartorius abweichen können in der Auffassung, dass den alten Erdperioden eine sehr vorherrschend ozeanische Beschaffenheit und somit auch ein ozeanisches Klima zu eigen gewesen sei. Desgleichen wird niemand Anstand nehmen, für die ältesten Erdperioden einen bescheidenen Zuwachs der Temperatur durch die Wirkung des Erdinnern anzunehmen. Ferner kann es keinem Anstand unterliegen, dass (l. c. S. 151—153) ein Wärmetransport durch Winde und Niederschläge, sowie durch Meeresströmungen stattgefunden habe, und hierdurch die Temperatur der hohen Breiten gemildert worden sei. Dass auch die Bewölkung einen Einfluss auf die Verminderung der Schwankung der Temperatur ausgeübt habe, dürfte ohne Anstand bejaht werden. Sartorius, dem noch keine thermographischen Tabellen zu Gebot standen, schätzt den Einfluss derselben nur auf $1^0,70$ R., offenbar zu wenig. Er nimmt jedoch nur eine Ausgleichung der Temperaturschwankungen durch Bewölkung an und nimmt keine Rücksicht darauf, dass diese Ausgleichung zu gunsten der Wärme ausfalle. Leider sieht sich Sartorius bei der numerischen Behandlung dieser Faktoren auf eine Schätzung angewiesen, die man nicht anders als eine willkürliche bezeichnen kann.

Um nun das Klima der Silurzeit in mittleren Breiten (45°) zu berechnen, legt er (l. c. S. 153) das reine Seeklima jener Breiten mit 10°,69 R. zu Grunde, addiert hierzu den Zuschuss der inneren Erdwärme mit 3°,20 R. (für jene Zeit); ferner einen Zuschuss durch Transport der Winde und Niederschläge mit 1° R. und durch Meeresströmungen mit 2° R., so dass er für die silurische Zeit in mittleren Breiten eine Temperatur von 16°,89 R. erhält.

Für mittlere Breiten ist diese Ziffer wohl zufriedenstellend wie auch der Wert der Temperatur, der von ihm für den Äquator gefunden wird, mit 24°,24 R. Allein für die höheren und höchsten Breiten lässt sich das nicht sagen. Offenbar hat Sartorius in jenen Werten, welche er zu der Temperatur des reinen Seeklimas addiert, Gegenstände aufgenommen, welche unter sich ziemlich ungleichartig sind. Die innere Erdwärme gibt für alle Breitegrade ohne Zweifel den gleichen Wärmezuschuss ab. Ob aber auch die Meeresströmungen und Winde in allen Breitegraden gleich wirken oder ungleich und wie? — darüber spricht sich Sartorius nicht ganz bestimmt aus. Er spricht nur von einer der Zeit (Formation) proportionalen Abnahme derselben (l. c. S. 155). Es müssen sich somit ihm ganz andere Zahlen ergeben, als bei der Annahme, die wir gemacht haben, dass nämlich die Zunahme und Abnahme der Temperatur unter verschiedenen Breitegraden durch den Einfluss der Bewölkung sich gerade so verhalte wie der Einfluss des reinen Seeklimas gegenüber dem Normalklima. Das Resultat für Sartorius ist, dass er für die Silurzeit eine Temperatur der Pole von 9°,54 R. berechnet. Gegenüber den mittleren Breiten ergibt sich somit nach seiner Unterstellung schon in jener frühen (silurischen) Zeit ein Temperaturunterschied von 7°,35 R. und gegenüber dem Äquator eine Differenz von 14°,70 R. Ein so namhafter Unterschied würde aber offenbar schon eine nicht zu verkennende zonenweise Abstufung des Klimas schon in jener frühen Periode in sich schliessen, womit die paläontologischen Beobachtungen nicht im Einklang stehen. Auch ist eine Temperatur von nur 9° oder 10° R. in den hohen Breiten für den typischen Charakter der Organismen jener Zeit offenbar zu niedrig.

Noch weniger entsprechen die von Sartorius berechneten Temperaturen für die späteren Erdperioden. Die Juraformation hätte nach ihm an den Polen nur noch + 2°,13 R., die Tertiärformation daselbst nur + 0°,93 R. Gegen solche Temperaturen legen die Paläontologen auf Grund reeller Untersuchungen entschieden Protest ein (cf. Heer: Polarflora 1, S. 73 u. 76).

Wenn wir Sartorius in der Zugrundlegung des reinen Seeklimas überhaupt gefolgt sind, so konnten wir ihm nicht oder nur mit wesentlichen Modifikationen folgen in der Bemessung jener Werte, welche er zu der Temperatur des reinen Seeklimas hinzufügt.

Es wurde von uns die Annahme einer konstanten Dunsthülle von den Tropen polwärts eingeführt und ausgeführt (Art. 3), dass dieselbe in ganz homologer und harmonischer Weise wirke, wie das ozeanische Klima selbst, nur eine Verstärkung desselben bewirke und in einer einfachen Proportion zu demselben stehe. Um den Betrag des Wärmezuwachses durch dieselbe zu eruieren, wurde ein doppelter Weg eingeschlagen, nämlich zuerst mit Grundlegung der Skala der mittleren Jahrestemperaturen (Tabelle III) und sodann mit Grundlegung der Schwankungsamplitüden (Tabelle IV, V u. VI). Auf beiden Wegen wurde für die alten Perioden zu einer Temperaturskala gelangt, welche an sich schon in ihren Hauptzügen den Anforderungen der Paläontologie befriedigend entsprechen dürfte; überdies wurde noch eine Emendation durch einen sehr mässigen Zuschuss (3° R.) der Wärme von seiten des Erdinnern und einer dichteren Atmosphäre für die alten Perioden hinzugefügt.

Das Tertiärklima mit seiner grösseren Differenzierung der Temperaturen wurde als in Übereinstimmung befindlich mit diesen Prinzipien dargestellt. (Tabelle VII.)

In betreff des Quartärklimas geht Sartorius von der unseres Erachtens ganz richtigen Auffassung aus, dass die niedrige Temperatur dieser Periode (in der Ausdehnung der Gletscher sich manifestierend) nicht von universeller, sondern nur von lokaler Beschaffenheit sei und durch die Erhebung der Gebirge sich erklären lasse. Er nimmt dabei eine Höhe der Gebirge während der Quartärzeit an, welche die jetzige Höhe derselben um ebensoviel übertraf, als die Temperatur jener Zeit niedriger war als die jetzige. Was den letzteren Punkt anbelangt, so konnten wir Sartorius darin nicht folgen. Es wurde vielmehr auf die unvermeidliche Ansammlung der Schneemassen in dem noch nicht oder jedenfalls weniger zerstückelten jungen Gebirge hingewiesen, welche Annahme die Erscheinungen der Quartärzeit ebensogut erklären dürfte, als die immerhin gewagte Annahme von Sartorius.

Was sodann das rezente Klima anbelangt, so kommt Sartorius zu dem gleichen Resultat wie wir, sofern er das Klima der Gegenwart als ein solches betrachtet, in welchem eine Rückkehr von den

klimatischen Ausschreitungen der Quartärzeit sich vollzieht; nur sind die Wege verschieden. Sartorius nimmt ein Zurücksinken der Gebirge von der Höhe derselben zur Quartärzeit an. Unsere Ansicht haben wir dahin entwickelt, dass die Ansammlung der Schneemassen auf den Gebirgen und ihre schliessliche Entladung wohl eine gewaltige, aber doch nicht eine bleibende klimatische Wirkung hervorbringen konnte, dass aber dieser Einfluss allmählich hinschwinden musste, als die Möglichkeit einer längeren Ansammlung der Schneemassen im Innern der Gebirge durch Bildung und Vervielfältigung der Querthäler beseitigt war und die Schneemassen durch Gletscher fortgeführt wurden. Die Eiszeit erreichte zwar jetzt erst extensiv durch das weite Vordringen der Gletscher ihren Höhepunkt, aber gleichzeitig wurden ihre Hilfsquellen im Gebirge selbst geschwächt und erschöpft. Die zu weit vorgeschobenen Eismassen, welche durch mechanischen Druck von dem tiefeingeschneiten Gebirge herab, nicht durch die eigenen klimatischen Zustände der Ebene sich hier eingefunden hatten, konnten der einheimischen höheren Temperatur der Ebene nicht auf die Dauer standhalten; die Position musste aufgegeben werden und die Gletscher mussten sich, nicht ohne Schwankungen, allmählich in die Hochthäler der Gebirge zurückziehen.

Das Resultat all dieser Entwickelungen und Vorgänge auf der Oberfläche der Erde ist das Klima der gegenwärtigen Erdperiode.

Anhang.

Vortrag über Woeikof's Grundsätze, betreffend die Ursachen der Eisanhäufung in der quartären Formation.

Wenn ich mir erlaube, meine Herren, hier über die Ursachen der sogenannten Eiszeit ein Wort zu sprechen, so ist mir wohl bekannt, dass dieser Gegenstand und die Erklärung desselben ein Thema ist, das viel umstritten ist; deshalb ist es aber meines Erachtens geboten, wenigstens gerechtfertigt, auf solche Erscheinungen in der Litteratur hinzuweisen, durch welche sich eine tiefgreifende Änderung in der Auffassung dieser merkwürdigen Erscheinung ankündigt oder schon vollzieht. Nicht so, als ob neue Beobachtungen

angestellt worden wären, durch welche in dem Thatbestand selbst eine ansehnliche Abweichung konstatiert worden wäre; sondern in den Grundsätzen der Erklärung dieses Phänomens vollzieht sich ein Umschwung und zwar zunächst durch das Erscheinen eines Werkes von Professor Dr. A. Woeikof in St. Petersburg, dessen Titel ist: Die Klimate der Erde. In russischer Sprache erschien dasselbe zuerst 1883; 1887 die deutsche Bearbeitung desselben durch den Verf. Woeikof selbst. Der deutschen Bearbeitung gehören nun gerade einige Abschnitte an (Kapitel 4—7 des I. Bandes), welche besonders geeignet sind, die Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen.

Sie wissen, meine Herren, dass unter allen Theorien zur Erklärung der Eiszeit, der Eisanhäufung zur quartären Zeit, jene von Adhémar die meisten Anhänger sich erworben hat; es ist jene Theorie, welche die Exzentrizität der Erdbahn, die ungleiche Länge des Sommer- und Wintersemesters auf den beiden Halbkugeln der Erde zu diesem Zwecke verwertet. Ich habe nicht nötig, hier darauf weiter einzugehen. Aber die gewichtigsten Stimmen mehren sich, welche diese mathematisch-astronomische Grundlage zu erschüttern und ganz zu beseitigen geeignet sind. Unter den neuesten Werken nenne ich, ohne auf ältere Autoritäten hier einzugehen, Hann in Wien, Handbuch der Klimatologie 1883; auf S. 67 u. 68 wird (unter Bezugnahme auf Lambert) konstatiert: „dass die Ungleichheit der Intensität der Strahlung in den zwei Bahnteilen genau kompensiert wird, auch die entgegengesetzte Ungleichheit in der Länge der Zeit, welche die Erde braucht, um dieselben zu durchlaufen; die Erde bekommt in ihrer nördlichen Halbkugel die gleiche Strahlenmenge wie die südliche in ihrem Sommerhalbjahr und dasselbe gilt auch für das Winterhalbjahr."

Woeikof lässt sich in seinem Werk auf diesen Gegenstand nicht speziell ein; allein er spricht davon, wie von einer Sache, die gar nicht weiter zu erörtern ist, die abgethan ist (l. c. I. Bd. S. 64 und II. Bd. S. 421): „es ist bekannt, dass die Wärmemenge, die im Laufe des Jahres von den Sonnenstrahlen gespendet wird, vollständig gleich für beide Halbkugeln ist." Ebendeshalb ist Woeikof auch kein Freund von einer Pluralität der Eiszeiten und von interglazialen Perioden. Woeikof übersieht den grossen Unterschied zwischen den gegenwärtigen klimatischen Zuständen der Nord- und Südhemisphäre keineswegs; er gibt auf S. 415 des II. Bandes an, dass dieser Unterschied in der Temperatur sich bis auf 8°—10° C. steigern könne und dass eine Eisanhäufung auf der Südhalbkugel bestehe, welche ganz leb-

haft an die Eiszeit der Nordhalbkugel erinnere. Allein auf die Exzentrizität führt er diese Zustände nicht zurück, schon aus dem Grunde, weil in der Südhalbkugel (wofür er viele Belege anführt) nicht die Winter kalt sind, sondern die Sommer, also gerade das Gegenteil von dem stattfindet, was der Einfluss der Exzentrizität bewirken sollte. Von anderen, älteren und neueren, Erklärungsversuchen kann hier Umgang genommen werden.

Wenn nun aber WOEIKOF diese Ursache der Eisanhäufung ablehnt, welche andere Grundsätze bringt er zur Geltung?

Die Antwort ist: physikalisch-tellurische Grundsätze und Gesetze und in erster Reihe die ganz bedeutende Wärmeabsorption bei dem Schmelzen des Eises und Schnees, wodurch nicht weniger als 79, genauer noch 79¼ Kalorien verbraucht werden (cf. l. c. I. Bd. S. 57). Gegen die mögliche Einwendung, dass ja eine Kompensation stattfinde, dass, mit anderen Worten, beim Gefrieren die Erde als Kondensationswärme das empfange oder empfangen habe, was ihr beim Abschmelzen entzogen werde, bemerkt er mit Recht, dass dies beim Schnee jedenfalls nicht zutreffe; bei der Bildung des Schnees werden nur die oberen Luftschichten durch die Kondensationswärme erwärmt, während der Verlust durch Abschmelzen an der Oberfläche der Erde selbst stattfindet (l. c. I. Bd. S. 58). Es liegt somit in der Tragweite der Auffassung von WOEIKOF, dass, nachdem die klimatischen Zustände der Erde sich so gestaltet hatten, dass überhaupt Schnee und Eis sich bilden konnten, ebendamit die Veranlassung zu einem weiteren sehr bedeutenden Wärmeverlust auf der Oberfläche der Erde gegeben war, der unter begleitenden günstigen Umständen zu einer Eisanhäufung und Ansammlung der Schneemassen führen konnte und musste.

2) Als begünstigende Umstände fasst WOEIKOF auf (I. Bd. S. 91) das Vorhandensein von Hochebenen die den Einflüssen des Ozeans ausgesetzt sind, z. B. Grönland, und Gebirge, welche die Schneelinie erreichen. Bei letzteren fügt er nur noch die Bedingung hinzu, „wenn die topographischen Verhältnisse günstig sind“, ohne jedoch auf eine genauere Erörterung sich einzulassen.

Von solchen begünstigten Orten kann die Eisanhäufung ihren Ausgang nehmen; eine

3) weite Verbreitung im Raum aber erfolgt durch das Herabsteigen der Gletscher von den Gebirgen in die vorliegenden Ebenen und noch mehr durch das Vorschieben der Gletscher in

das Meer, wo die abbrechenden Eisberge sehr weit fortschwimmen und durch ihre Abschmelzung weithin die Temperatur des Meerwassers und der Luft und damit auch des Landes bedeutend herabdrücken (l. c. I. Bd. S. 59 und an vielen anderen Orten), wobei die von den antarktischen Regionen abgehenden Eisberge, wo sie die grösste Verbreitung haben, so auch die mächtigste Wirkung ausüben (I. Bd. S. 59 und an vielen anderen Stellen).

Dies, so kurz als möglich gefasst, sind die Prinzipien, welche Woeikof zur Erklärung der Eisanhäufungen der quartären Periode zu Hilfe nimmt.

Auf die Frage: wie kommt es nun, dass die Eiszeit vorüber ist, oder genauer, dass die Eisanhäufungen in vielen Gegenden, wo sie zuvor nachweisbar vorhanden waren, verschwunden sind und auf mehrere andere verwandte Fragen geht Woeikof hier nicht ein. Man mag das als eine Lücke in seiner Darlegung ansehen, aber man wird zugeben müssen, dass die Anwendung von rein physikalischen und tellurischen Grundsätzen für die Erklärung der Eiszeit, gegenüber von den herrschenden Anschauungen, eine sehr beachtenswerte Wendung im gesamten Standpunkte der Auffassung des Gegenstandes bezeichnet.

Dass ich persönlich bei der Lektüre dieses Werkes sehr angenehm berührt wurde, ist begreiflich, weil ich die in allen Hauptsachen gleichen Grundsätze schon vor Jahren entwickelt und publiziert habe. Dass jedoch Woeikof meine diesbezüglichen Abhandlungen nicht kennen gelernt hat, sondern seinerseits ganz selbständig diesen Weg eingeschlagen hat, davon habe ich mich vollständig selbst überzeugt und wird sich jedermann überzeugen können, der beachtet, dass die Ausgangspunkte für die Auffassung der in Frage stehenden Probleme bei Woeikof und bei mir in der That merklich verschieden sind. Woeikof geht von physikalisch-meteorologischen Thatsachen und Gesetzen aus und schenkt der Paläontologie ein nur geringes Zutrauen. Meine eigenen Ausführungen haben aber zur Basis die paläontologischen Ergebnisse der bekannten Polarexpeditionen und von diesem Ausgangspunkt wird übergegangen zu der Erklärung der Klimate der Vorwelt. Die paläontologischen Ergebnisse sind für mich der Ausgangspunkt und zugleich der Prüfstein für den gesamten Komplex der klimatischen Zustände der Vorzeit. Mein Bestreben geht dahin, die paläontologischen Ergebnisse mit den waltenden physikalischen Gesetzen in Einklang zu bringen.

Es wird deshalb notwendig sein, die Grundsätze WOEIKOF's mit den von mir in Anwendung gebrachten näher zu vergleichen; denn bei aller Übereinstimmung ergeben sich doch, wie es nicht anders sein kann, einige Abweichungen.

Meine eigenen Auffassungen über die klimatischen Zustände der Vorzeit habe ich veröffentlicht in den Württ. naturw. Jahresheften in den Jahrgängen 1874 S. 80; sodann daselbst 1875 S. 85 bis 143; ferner daselbst 1881 S. 47—113; und in den Abhandlungen der Senckenbergischen naturforschenden Gesellschaft in Frankfurt 1884 S. 277—400. Hierbei wurde bald die eine, bald die andere Seite des Gegenstandes entwickelt, am umfassendsten in der zuletzt genannten Abhandlung von 1884.

Darin besteht vollständige Übereinstimmung zwischen WOEIKOF und mir, dass die astronomischen Verhältnisse der Erdbahn, die Exzentrizität derselben und was damit in betreff von ungleicher Länge des Sommer- und Wintersemesters etc. nach den Erörterungen von ADHÉMAR zusammenhängt, für die Erklärung der klimatischen Zustände der Eiszeit abzulehnen seien. Eine einlässliche Kritik des ADHÉMAR'schen Standpunktes habe ich mich bemüht, besonders in den Abhandlungen der Senckenbergischen Gesellschaft 1884 S. 352 zu geben. Bei der dominierenden Bedeutung, welche gerade in neuester Zeit, besonders bei Geologen, diese Theorie immer noch einnimmt, war eine kritische Beleuchtung nicht zu umgehen.

An die Stelle derselben treten physikalisch-tellurische Gesetze und Zustände; und wie von WOEIKOF die Wärmeabsorption beim Schmelzen des Schnees in erster Reihe angeführt wird, so wird auch von mir dieses physikalische Gesetz betont. (Württ. naturw. Jahreshefte 1875 S. 121; ferner daselbst 1881 S. 92 und Abhandlungen der Senckenbergischen Gesellschaft 1884 S. 348, 325, 393.) Ferner, wie WOEIKOF bemerkt, dass eine Kompensation hier nicht stattfinden könne, so wurde auch von mir hervorgehoben, dass die Bildung des Schnees einerseits und seine Abschmelzung anderseits in verschiedenen „Regionen" stattfinde, die eine in hohen Luftschichten, wo sich die Wärme zerstreut, die andere an der Oberfläche der Erde, wo sie dem Boden die Wärme entzieht. (Württ. naturw. Jahreshefte 1875 S. 92 und Abhandlungen der Senckenbergischen Gesellschaft 1884 S. 324, 325.)

Wie sodann WOEIKOF als „günstige Umstände" für die Eisanhäufung bezeichnet: die Hochebenen in maritimer Lage und

die Gebirge, wenn die topographischen Verhältnisse günstig sind, so wurde von mir als „Bedingung zur Ansammlung" der Schneemassen verlangt: das Vorhandensein von Gebirgen und zwar nicht von zerstückelten (durch Querthäler unterbrochenen), sondern von geschlossenen Gebirgen, wobei auch die Begünstigung durch maritime Lage hervorgehoben wurde (cf. Württ. naturw. Jahreshefte 1875 S. 133 und Abhandlungen der Senckenbergischen Gesellschaft 1884 S. 359). Die leise Andeutung bei Woeikof, „wenn die topographischen Verhältnisse günstig sind", weist offenbar auf übereinstimmende Voraussetzungen seinerseits hin; nur habe ich diesen Umstand, wohl mit Recht, kräftiger betont; denn ein Gebirge, das zwar die Schneelinie erreicht, aber durch Querthäler von Anbeginn zerstückelt ist, sendet die Schneemassen fortlaufend durch die Gletscher in die Flussthäler hinab und kann die Ansammlung derselben ebendeshalb nie einen hohen Grad erreichen (cf. Württ. naturw. Jahreshefte 1874 S. 80; 1875 S. 93; 1881 S. 94 und Abhandlungen der Senckenbergischen Gesellschaft 1884 S. 325). Wie ferner Woeikof die weite räumliche Verbreitung der Eiszeiterscheinungen durch das Herabsteigen der Gletscher motiviert, so ist das auch von meiner Seite geschehen, wobei ich die fortschreitende Zerstückelung des Gebirgs durch die Erosion der Querthäler besonders hervorhob (Württ. naturw. Jahreshefte 1874 S. 81; 1875 S. 93; 1881 S. 96; Abhandlungen der Senckenbergischen Gesellschaft 1884 S. 327).

Desgleichen wurde von mir hervorgehoben: die Bedeutung der schwimmenden Eisberge, welche geeignet sind, bei ihrem Abschmelzen auf weite Erstreckungen hin die Temperatur herabzudrücken (Württ. naturw. Jahreshefte 1881 S. 97 und Abhandlungen der Senckenbergischen Gesellschaft 1884 S. 347 u. 367), was bei den Zuständen der südlichen Halbkugel mehr noch ins Gewicht fällt, als bei jenen der nördlichen. Hier ist nun aber auf eine Lücke hinzuweisen in den Ausführungen Woeikof's, darauf, dass wie schon zuvor bemerkt wurde, auf die berechtigte Frage, aus welchen Gründen die Eiszeit an vielen Orten aufgehört habe, eine Antwort in seinem Buche vermisst wird.

Meinerseits wurde dafür geltend gemacht, dass durch das Herabsteigen der Gletscher in die Ebenen, das durch die unterdessen erfolgte Erosion der Querthäler ermöglicht wurde und durch die Strandung der Eisblöcke in niedrigeren Breiten, das Gletschermaterial den Angriffen der einheimischen grösseren Wärme in den niedrigeren Breiten und tieferen Lagen ausgesetzt wurde, wodurch die

Gletscher nach langem Kampfe genötigt wurden, in die hohen Lagen der Gebirge sich zurückzuziehen oder auch ganz zu verschwinden (cf. Württ. naturw. Jahreshefte 1874 S. 82; 1875 S. 115; 1881 S. 101; Abhandlungen der Senckenbergischen Gesellschaft 1884 S. 399). Die Eisanhäufungen würden somit heute noch bestehen, wenn nicht die Heimstätten derselben (Gebirge) unterdessen durch Querthäler zerstückelt worden wären und die Eismassen, durch Gletscher in die Niederungen geführt, durch die hier einheimische Wärme geschmolzen worden wären. Meine Anschauung war damals, dass dieser Gesichtspunkt schon für sich allein genüge, dass also die einheimische Wärme überall einen weiteren Sukkurs nicht bedurfte, um, wenn auch langsam, die Last des Eises schliesslich zu bewältigen. Ich modifiziere aber meine Ansicht dahin, dass zur Wegschaffung der kontinentalen Eisdecke (Inlandeis) in Skandinavien und in dem weiten Raum von Norddeutschland und Russland, die einheimische Wärme für sich allein wohl nicht zureichend gewesen sein dürfte, wenn nicht noch eine Verstärkung desselben, die zuvor nicht da war, eingetroffen wäre. Hauptsächlich der Umstand, dass sich „Inlandeis“ im nördlichen Deutschland, Russland etc. bilden konnte, ist wohl ein Beweis, dass die damalige einheimische Wärme, in den genannten Gegenden wenigstens, zur Abschmelzung für sich allein ungenügend war. Früher konnte man sich mit der Lyell'schen Drifttheorie befriedigen, welche annimmt, dass das skandinavische Material auf Eisbergen in die norddeutschen und russischen Ebenen vertragen worden sei; allein die neueren Untersuchungen lassen keinen Zweifel, dass hier grosse selbständige Eisanhäufungen sich gebildet haben, wenn auch der Anstoss dazu ursprünglich vom skandinavischen Gebirge ausgegangen war. Das darf man wohl als ein Zeugnis dafür ansehen, dass die einheimische Wärme dieser Gegenden so darniederlag, dass ihr Klima selbst zum Gletscherklima herabsank, ohne sich aus eigener Kraft erhöhen zu können. Am Fusse der Alpen ist das schon anders. Hier hat nur eine Invasion vom Gebirge her stattgefunden; nachdem aber der Höhepunkt derselben erreicht war, war wohl schon die einheimische Wärme in Italien und Deutschland befähigt, in langsamer Arbeit das Gletschermaterial zu beseitigen. Nicht so in den weiten Räumen von Nordeuropa, gegen welche die Gletscherlandschaft am Fusse der Alpen nur ein schmaler Saum ist. Und doch ist diese Eisanhäufung auch aus Skandinavien und den benachbarten Ländern verschwunden! Hier hebt nun Woeikof einen sehr

beachtenswerten Gesichtspunkt hervor, der zwar von ihm nicht in seinem Buche selbst (Klimate etc.) aufgenommen ist, aber in einer Abhandlung desselben Verfassers enthalten ist, welche den Titel führt: Gletscher und Eiszeiten (cf. Zeitschr der Ges. f. Erdkunde 1881, S. 257). WOEIKOF gibt hier einen nur ganz kurzen Hinweis darauf, dass die Ursachen des Aufhörens der Eiszeit in einer Änderung der Richtung des Golfstroms liegen können.

Und in der That, wenn der Golfstrom jene Richtung, die er heutzutage hat (gegen die norwegische Küste), zuvor nicht hatte, sondern erst später, nachdem die Eisanhäufung sich schon in Skandinavien und in den benachbarten Ländern des nördlichen Europa festgesetzt hatte, einschlug, so konnte durch seine warmen Gewässer und die von ihnen beeinflussten Luftströmungen der nötige Sukkurs beschafft werden, um diese Länderstrecken, die von Skandinavien aus zuvor in den Kreis der Vergletscherung hineingezogen worden waren, von dieser Last nun wieder zu befreien.

Das ist nun allerdings zunächst nur eine Hypothese und WOEIKOF selbst will auch sichtlich keinen grösseren Wert auf dieselben legen, gibt auch keine weitere Begründung derselben, nimmt sie nicht einmal in sein Buch auf, wie ich schon vorhin bemerkt habe; allein die Umstände scheinen, nach meiner Auffassung, wirklich so zu liegen, dass man dieselbe als eine recht schätzenswerte Hypothese anerkennen darf.

Man kann sich recht gut vorstellen, wie das skandinavische Gebirg, bei dem Auftreten der Eismacht, eine Eisanhäufung in jenen Gegenden begünstigte und zum Zentrum einer Vergletscherung wurde, welche dann die Länder in weitem Umkreise mit ergriff. Wenn nun aber nachher die warmen Gewässer des Golfstroms gegen Nordosten, also gegen das skandinavische Zentrum der Vergletscherung hin getrieben wurden und wenn auch überdies die von ihnen erwärmten, in jenen geographischen Breiten dominierenden westlichen Luftströmungen die Küsten von Norwegen in sehr kräftiger Weise bestreichen konnten, so konnte nicht bloss das Zentrum der dortigen Vergletscherung, das skandinavische Gebirge, von seiner Last befreit werden, sondern ebendamit auch die angrenzenden Länderkomplexe.

Wenn der Zuschuss von Wärme durch die erwärmten atlantischen Luftströmungen weiter gegen Osten auch weit geringer wurde, so konnte dort doch auch eine verminderte Zufuhr von Wärme soweit aufhelfen, dass die einheimische Wärme mit der Vergletscherung fertig werden konnte. Dagegen jene Gegenden, welchen der

Golfstrom den Rücken zuwendet, d. h., die nicht direkt vom Golfstrom bespült werden und in welche auch die in jenen geographischen Breiten herrschenden Westwinde nicht eindringen können, also Grönland insbesondere, blieb unter der Last des Eises begraben. In ganz ähnlicher Weise sind auch die Länder der südlichen Halbkugel in entsprechenden Breiten vergletschert geblieben. Der Grund hiervon ist ohne Zweifel zu einem guten Teil darin zu suchen, dass eine warme Strömung, welche auch nur annähernd die Bedeutung des Golfstromes hätte, in dieselben nicht vordringt.

Wenn man sich umsieht nach Stützen, um nicht zu sagen nach Beweisen, für diese Auffassung, dass der Golfstrom bis in die jüngste geologische Zeit hinein eine andere Richtung hatte, d. h. dass die Gewässer der warmen Äquatorialströmung des Atlantischen Ozeans nicht durch vorliegende Landbrücken in ihrem Wege aufgehalten und nach Nordost zurückgewiesen wurden, sondern in ihrer ursprünglichen Richtung von Ost nach West sich fortbewegen konnten, so lassen sich in der That solche auch beibringen. Schon WALLACE sagt in seinem Werk über die geographische Verbreitung der Tiere (II. Bd. S. 24): „Die Identität oder nahe Verwandtschaft von 140 Arten und 40 Gattungen Mollusken an den beiden Seiten des Isthmus von Panama ist schwer wiegend und zusammen mit der Thatsache, dass 48 Arten von Fischen an den benachbarten Küsten der beiden Ozeane identisch sind, macht es wahrscheinlich, dass Zentralamerika teilweise, noch zu verhältnismässig neuen geologischen Zeiten, unter Wasser stand."

Noch bestimmter äussert sich der Ichthyologe A. GÜNTHER in seinem Handbuch der Ichthyologie (1886) S. 186, wo es heisst: „Das Zentralamerikanische Gebiet zeigt eine so nahe Verwandtschaft mit dem tropischen atlantischen Ozean, dass es, wenn es von demselben nicht durch den, die beiden amerikanischen Kontinente verbindenden Landrücken geschieden wäre, ganz sicherlich als ein Teil der Fauna des tropisch-atlantischen Ozeans betrachtet wurde. Die Gattungen (der Fische) sind fast ausnahmslos identisch und von den auf der pacifischen Seite gefundenen Arten stellte sich heraus, dass nahezu die Hälfte dieselben sind, wie jene der atlantischen. Die Erklärung dieser Thatsachen fand man in dem Vorhandensein von Kommunikationen zwischen beiden Weltmeeren durch Kanäle und Strassen, welche bis in die jüngste Periode offen gewesen sein müssen. Die zentralamerikanische Landenge war damals teilweise

unter Wasser und erschien als eine Inselkette, ähnlich der der Antillen.“ Ferner äusserte sich GÜNTHER l. c. S. 187: „Das Vorhandensein der atlantischen Fauna an der pacifischen Seite macht sich nicht bloss bei den Galapagosinseln geltend, woselbst noch ein Teil der Arten mit denen der Landenge von Panama oder Westindiens absolut identisch ist, sondern noch weiter westlich, sofern einige atlantische Arten die Sandwichinseln erreichten.“ Das Urteil eines so gewiegten Ichthyologen fällt offenbar schwer in die Wagschale für die Annahme, dass bis in die jüngste Periode die atlantische Äquatorialströmung ihren Weg in der Richtung von Ost nach West fortsetzte und dass erst in jüngster Zeit jene Änderung ihres Laufes, die bis in die Gegenwart fortbesteht, eintrat. Die Landenge von Panama setzte sich dem bisherigen geregelten Lauf der äquatorialen Meeresströmung erst später entgegen und hierdurch drangen die warmen Gewässer der niederen Breiten, die zuvor in einer abgegrenzten Zone von Ost nach West sich bewegten, in ein Gebiet ein, das zuvor, seiner geographischen Lage nach, unter dem dominierenden Einfluss der nordpolaren Gegenden und ihrer Kälteprodukte sich befand (Skandinavien). Diese beträchtliche Zufuhr von Wärme, die in den Tropen erzeugt wurde, konnte nicht verfehlen, auf das Klima jener Gegenden einen ganz bedeutenden Einfluss auszuüben und die kurz zuvor noch dort herrschenden klimatischen Zustände in ganz hohem Grade umzuändern.

Jedenfalls wird man, wenn man einmal zu Hypothesen zu greifen sich veranlasst sieht, lieber dem Golfstrom eine Bedeutung zumessen dürfen, als dem Föhnwind. Doch kann auch der Golfstrom nicht als allgemeines Prinzip für das Hinschwinden der Eisanhäufung anerkannt werden, weil die Wirkungen desselben selbstverständlich auf die dem Einflusse des Atlantischen Ozeans mehr oder weniger ausgesetzten Gegenden beschränkt sind.

Der weit entlegene Osten (Kaukasus, Himalaya) wird davon nicht mehr beeinflusst. Deshalb möchten wir auch die einheimische Wärme der niedrigen Lagen und geographischen Breiten immer noch als die Hauptsache ansehen, wenigstens als das allgemein wirkende Prinzip, dem nur in einigen, allerdings ausgedehnten, Gegenden die Wärme des Golfstromes noch zu Hilfe kommt. In Spitzbergen vermag die Wärme des Golfstromes die Vereisung nicht zu beseitigen, nicht bloss aus dem Grunde, weil seine eigene Temperatur in so weiter Entfernung selbst sich schon abgekühlt hat, sondern auch weil die einheimische Wärme daselbst, in jenen

hohen Breiten schon an sich zu gering ist, so dass die Zufuhr nicht mehr ausreichend ist.

Die bisher vorgetragenen Gesichtspunkte möchten genügen, um auf die Bedeutung, welche dem trefflichen Werk von WOEIKOF gebührt, hinzuweisen und zugleich auf die Übereinstimmung meiner eigenen Auffassungen mit jenen von WOEIKOF.

Auf das Klima der Tertiärzeit und der alten Perioden einzugehen, hat WOEIKOF in seinem Werke keine Veranlassung genommen. Meine eigenen Abhandlungen ziehen jedoch auch diese Perioden in den Kreis der Untersuchung und diese sogar ganz besonders, weil ich davon ausgehe, dass der Prozess der klimatischen Entwickelung nur dann vollständig verstanden wird, wenn er in allen seinen Stadien berücksichtigt wird.

Wenn man aber für die Erklärung des Klimas der quartären Zeit von kosmischen Ursachen prinzipiell absteht und sich auf die physikalisch-tellurischen allein beruft, so werden auch für das Klima der tertiären Formation und ebenso auch der alten Erdperioden nur physikalisch-tellurische Ursachen, unter Ablehnung der kosmischen, in Anwendung gebracht werden dürfen. Jedenfalls müssen die Versuche, das Tertiärklima in ähnlicher Weise mit der Exzentrizität der Erdbahn in Verbindung zu bringen, wie die Eiszeit, mit gleicher Entschiedenheit hier wie dort als unzulässig bezeichnet werden. Aber auch andere, an sich schon gewagte Hypothesen, z. B. Vorgänge im Sonnenkörper selbst, oder verschiedene Temperaturen verschiedener Himmelsgegenden, durch die sich das ganze Sonnensystem mit all seinen Planeten hindurchbewegt und andere, können keine Befriedigung gewähren. Auch hier müssen die physikalisch-tellurischen Ursachen sich nachweisen lassen, aus denen das tertiäre Klima und jenes der alten Perioden resultierte; das verlangt schon die Konsequenz der prinzipiellen allgemeinen Auffassung. Man wird nicht zum voraus an der Zureichenheit desselben verzweifeln dürfen und das Bestreben, dieselben wirklich nachzuweisen, hat in sich selbst volle Berechtigung.

Meine eigenen Untersuchungen und Erörterungen erstrecken sich aber noch weiter. In der II. Abteilung meiner Arbeit in den Abhandlungen der Senckenbergischen Gesellschaft 1884 werden noch weitgreifende anderweitige Folgen der klimatischen Entwickelung namhaft gemacht. Ich will dieselben hier nicht aufzählen, sondern nur bemerken, dass, wenn die physikalischen Prinzipien, die von WOEIKOF und von mir in Sachen des Klimas in Anwendung gebracht

wurden, am richtigen Platze sind, so ergibt es sich von selbst, dass damit irgendwelche andere Folgen wenigstens verbunden sein können. Auch Woeikof verschliesst sich dieser Tragweite seiner Prinzipien nicht, wovon das siebente Kapitel des I. Bandes Zeugnis ablegt[1]; aber der Zweck seines vorliegenden Buches ist nicht auf eine speziell einlässliche Verfolgung desselben gerichtet.

Wenn man aber bedenkt, dass das Klima selbst teilnimmt an der tellurischen Entwickelung und mit ihr gleichen Schritt hält, anderseits aber die tellurische Entwickelung wieder durch das Klima beeinflusst werden kann, dass also eine Wechselwirkung zwischen beiden besteht und dass beide, Klima und Entwickelung der tellurischen Gestaltungen, unter dem Gesetze der allmählichen ungleichen Abkühlung der Erde begriffen sind, so ist damit der Forschung ein so weites Gebiet eröffnet, dass der Umfang desselben eher zu niedrig als zu hoch geschätzt werden wird.

Wenn es insbesondere richtig ist, um nur einen Punkt hervorzuheben, dass die antarktische Region durch ihre gewaltigen Kälteprodukte das Klima einer ganzen Hemisphäre stark zu beeinflussen vermag, was mehr und mehr erkannt und anerkannt wird, so wird jene antarktische Gegend noch einflussreicher durch den Umstand, dass die kalten Wasser, die auf der Oberfläche durch die Eisberge erzeugt worden sind, auf den Meeresgrund hinabsinken. Wie auf der Oberfläche durch sie das Meer und die Luft erkältet werden, so auch noch mehr der Meeresgrund. Hier findet offenbar eine sehr starke Wärmeabforderung von dem Meeresgrunde durch diese kalten Gewässer statt und dadurch eine Volumverminderung derselben. Die südliche Halbkugel ist deshalb zugleich das Gebiet vorherrschender Senkungen. Ist aber die südliche Halbkugel ein Gebiet vorherrschender Senkung, so eröffnet sich auch die Aussicht auf ein Gebiet vorherrschender Hebungen. Die Senkungsgebiete sind die grossen Ozeane, die Hebungsgebiete aber sind die Kontinente. Die Verschiedenheit in der Verteilung zwischen dem Festen und Flüssigen ist dann nicht mehr bloss eine vollendete Thatsache, sondern sie tritt hierdurch in Kausalverbindung mit anderen Erscheinungen. Ebenso erscheint, wenn man die ungleiche Abkühlung und den daraus resultierenden ungleichen Druck

[1] Der Kern der Erörterungen jenes Kapitels besteht darin, dass die Meere der südlichen Halbkugel, besonders in hohen Breiten, Wärme verlieren und durch ihre Unterströmungen auch die Masse der Gewässer der niedrigen Breiten abkühlen.

weiter verfolgt, die Lage der höchsten Gebirge an den Rändern der Kontinente und die Lage der Vulkanreihen in ungefähr gleichen Kurven nicht mehr als ein rein zufälliger Umstand, sondern reiht sich ein in eine Serie von anderen Erscheinungen. Es eröffnet sich somit hier ein Gesichtskreis, dessen Bedeutung den der klimatischen Entwickelung für sich allein noch weit übertrifft.

Es mag jedoch hier vorerst eine solche Andeutung genügen. Die zweite Abteilung dieser Schrift wird sich aber mit diesen Gesichtspunkten zu beschäftigen haben.

II. Abteilung.

Über die Modifikationen und Wechselbeziehungen der klimatischen Entwickelung zu der Gestaltung der Oberfläche der Erde.

In der vorhergehenden Abteilung I wurde der Versuch gemacht, die Beschaffenheit des Klimas der alten geologischen Periode auf rein tellurische Grundlagen, nämlich auf die ozeanische Warmwasserheizung, verstärkt durch konstante Bewölkung in mittleren und höheren Breiten, zurückzuführen und von ihnen abzuleiten. Die beiden namhaft gemachten Faktoren wurden durch das allmähliche Auftauchen der Festländer mehr und mehr geschwächt und dadurch das Klima der Erdoberfläche so verändert, dass, nach Überwindung der sogenannten Eiszeit, schliesslich sich das heutige Klima einstellte.

Das reine Seeklima der Gegenwart hat, wenn auch abgeschwächt, bis heute noch die wesentlichen typischen Züge der alten Klimate bewahrt, grössere Gleichförmigkeit und Wärme, und es bedurfte nur einer näheren Darlegung und Begründung einer Verstärkung des reinen Seeklimas, um einen bestimmten Ausdruck der Temperatur für alle Breitegrade zu gewinnen, welcher den klimatischen Verhältnissen der verflossenen Perioden gut entspricht. Die allmählich auftauchenden und wachsenden Kontinente aber stellten sich als die Ursache der exzessiven Temperaturen dar, wie sie dem heutigen Klima zukommen.

Ein so wichtiger und tiefgreifender Vorgang, wie die Umänderung des Klimas, vollzieht sich jedoch nicht als eine in sich ganz abgeschlossene und isolierte Erscheinung und wird auch nicht überall in ganz gleicher Weise vor sich gehen, sondern wird im Zusammenhang, in Wechselwirkung mit anderweitigen Erscheinungen stehen und kann auch da und dort belangreiche Modifikationen erleiden.

Es wird ein Prüfstein für die Richtigkeit oder Unrichtigkeit der prinzipiellen Auffassung der klimatischen Frage sein, wenn auch die wichtigsten Modifikationen der klimatischen Entwickelung und die wichtigsten begleitenden Erscheinungen zur Erklärung und Beleuchtung aus dem geltend gemachten prinzipiellen Standpunkte herbeigezogen werden.

In erster Reihe stellt sich hier die merkwürdige Modifikation des Klimas der südlichen Halbkugel dar, die bei ihrer sehr ausgedehnten Meeresbedeckung eine im Mittel höhere und gleichförmigere Temperatur haben sollte, als die nördliche Halbkugel, aber, auffallender Weise, eine, wenn auch gleichförmigere, doch niedrigere Temperatur besitzt, besonders in mittleren und höheren Breiten. Sodann werden zu betrachten sein eine Reihe von Erscheinungen, meist geographischer Natur, durch welche die Wechselwirkung zwischen Klima und Oberflächengestaltung sich kundgibt.

Erstes Kapitel.

Das Klima der südlichen Hemisphäre.

Erster Artikel.

Die Untersuchungen über dasselbe von Sartorius und Hann.

Da auf der südlichen Halbkugel die Meere eine beträchtlich grössere Ausdehnung als auf der nördlichen haben, so sollte, nach ganz allgemein anerkannten Grundsätzen, daselbst auch ein ozeanisches Klima vorherrschen, oder das Klima sollte dort nicht bloss gleichförmiger sondern auch, besonders in mittleren und hohen Breiten, zugleich wärmer sein. Eine grössere Gleichförmigkeit ist vorhanden, denn die Isothermen des Juli und Januar verlaufen hier weniger gekrümmt als auf der nördlichen Halbkugel (cf. Wettstein: Die Strömungen der Festen etc. Charte 19—20). Allein die südliche Halbkugel ist, besonders in mittleren und hohen Breiten, anerkannt und deutlich weniger warm, als die nördliche, was besonders von dem reinen Seeklima gilt. Sartorius von Waltershausen hat, nach der Methode der kleinsten Quadrate, das reine Seeklima beider Hemisphären berechnet[1] und wird eine klare Einsicht in diese Ver-

[1] Untersuchungen über die Klimate der Gegenwart und Vorwelt, S. 124.

hältnisse durch eine Gegenüberstellung der Ziffern der betreffenden Tabellen zu gewinnen sein.

Tabelle VIII. Nach Sartorius von Waltershausen.

Breitegrad.	Reines Seeklima der nördlichen Hemisphäre.	Reines Seeklima der südlichen Hemisphäre.	Geringere Wärme der südlichen Hemisphäre.
0°	21°,14 R.	21°,14 R.	—
10°	20°,89	20°,03	0°,86 R.
20°	19°,14	17°,62	1°,72
30°	16°,17	14°,19	2°,51
40°	13°,33	10°,10	3°,23
50°	9°,68	5°,83	3°,85
60°	6°,20	1°,86	4°,34
70°	3°,36	— 1°,37	4°,73
80°	1°,49	— 3°,46	4°,95
90°	0°,84	— 4°,19	5°,03

Wie die Tabelle zeigt, ist das reine Seeklima der südlichen Halbkugel durchgängig kälter, als das der nördlichen. Bei genauerer Betrachtung fällt aber auf, dass die Temperatur nach dem südlichen Pole hin konstant eine stärker wachsende Abnahme zeigt als gegen den Nordpol; der Unterschied besteht nicht darin, dass die Temperatur der Südhalbkugel auf jede Dekade von Graden um einen gewissen überall gleichbleibenden Wert geringer ist, als die der nördlichen, sondern die charakteristische Eigentümlichkeit der Wärmeverteilung besteht darin, dass die Abkühlung auf der südlichen Hemisphäre nicht bloss einfach, was selbstverständlich ist, sondern auch gegenüber der nördlichen Halbkugel, von Dekade zu Dekade gegen die Pole hin sich steigert.

Eine solche Wärmeabstufung weist mit Sicherheit auf ihre Ursache hin. Sartorius drückt sich darüber kurz, aber mit Bestimmtheit, aus (l. c. S. 142 u. 144): „Dass die niedrige Temperatur des Seeklimas der südlichen Erdhälfte nur die Folge eines bis jetzt wenig bekannten Kontinents sein könne; eine vollständige Meeresbedeckung kann einen solchen Einfluss nicht ausüben."

Jedenfalls kann es sich hier nicht um einen geringeren Wärmeempfang wegen ungünstigeren Standes der Sonne auf dieser Seite der Erde handeln. Wenn letzteres der Fall wäre, so müsste jeder Breitegrad diesen absoluten Minderempfang (hervorgebracht durch das verkürzte Sommer- und verlängerte Wintersemester der ganzen

Halbkugel), durch den konstanten Abmangel eines gewissen in allen Breitegraden gleichbleibenden Betrags Wärme zu erkennen geben. Das trifft aber nicht zu, sondern wie die Radien eines Kreises auf ihren Mittelpunkt, so weisen die gegen den Pol stetig wachsenden Ziffern der Temperaturabnahme auf eine im südlichen Polarkreise selbst befindliche Ursache dieser Erscheinung hin und dieselbe kann nichts anderes sein, als der antarktische Kontinent. Die äusserst ungünstige Position jenes Kontinents, der in zentraler Lage am Pol fast den ganzen Polarkreis ausfüllt, erzeugt, wie allgemein anerkannt ist, gewaltige Kälteprodukte, welche derselbe allseitig und ungehindert als schwimmendes Eis in das Meer abgibt und damit die Temperatur des Meerwassers und zugleich das Insel- und Seeklima abkühlt bis auf die weiteste Erstreckung hin; je näher dem Herde der Kälte, desto fühlbarer. Im Sommer macht sich die Erniedrigung der Temperatur verhältnismässig noch fühlbarer als im Winter, weil in jener Jahreszeit der Abschmelzungsprozess am lebhaftesten ist.

Auf der nördlichen Halbkugel walten nicht so ungünstige geographische Verhältnisse ob. Auch hier findet sich Land innerhalb des Polarkreises, aber die Landmassen sind anders verteilt; sie liegen mehr auf der Peripherie als im Zentrum, die Verbindung des nördlichen Eismeeres mit den übrigen Meeren ist mehr beengt, besonders zwischen Amerika und Asien sehr wenig geöffnet, die Absendung der Eisberge und Schollen ist zum Teil auf sehr schmale Räume beschränkt (Behringsstrasse, Smithsund), die Kälteprodukte selbst sind weniger massenhaft und somit der erkältende Einfluss auf die benachbarten Meere überhaupt geringer.

In neuester Zeit wurde das Klima der Südhemisphären zum Gegenstand einer neuen sorgfältigen Untersuchung von Prof. Hann in Wien gemacht[1]. Da der Verfasser der genannten Abhandlung in der Lage war, zum Teil ganz neue, zum Teil verbesserte Beobachtungen seinen Berechnungen zu Grunde zu legen, so ist seine Arbeit in hohem Grade verdienstlich. Die Berechnung selbst geschieht, wie bei Sartorius von Waltershausen, nach der Methode der kleinsten Quadrate, aber seine gesamte Auffassung der Grundlage weicht von jener des Sartorius ab. Er bemerkt (S. 15), dass es doch nur ein Seeklima geben könne und dass die Inseln der nördlichen Hemisphäre durchgängig kein normales Seeklima besitzen, zu warm

[1] Über die Temperatur der südlichen Hemisphäre. Bd. 85 der Sitzungsberichte der k. Akademie der Wiss. II. Abt. Jahrgang 1882. S. 6.

seien, während das Seeklima der Südhemisphäre, der „Wasserhalbkugel“ sich viel besser dazu eigne, das reine Seeklima überhaupt darzustellen, deshalb als solches aufzufassen sei.

Darüber wird man nun nicht streiten wollen, ob es nur ein Seeklima geben könne; allein jeder Ozean gibt doch in Wirklichkeit wieder andere Nüancen desselben, die untereinander zu vergleichen ein verdienstlicher Gedanke von SARTORIUS ist. Die Aufgabe wird ihren Schwerpunkt darin haben, sich die Grundsätze klar zu machen, die man in Anwendung bringen muss, um den störenden Einflüssen von seiten der Kontinente aus dem Wege zu gehen und dieselben, soweit möglich, zu eliminieren. Die Annahme von HANN, dass das Seeklima der (vorherrschenden) Wasserhalbkugel das echtere Seeklima sei, ist zu unbestimmt; denn es kommt wesentlich darauf an, nicht bloss wieviel Land oder Wasser sich auf einer Halbkugel befinde, sondern auch in welcher geographischen Lage dasselbe vorhanden sei. In gewissen Lagen vermag ein Kontinent das Seeklima nur sehr wenig zu beeinflussen; in anderen Lagen aber, bei unveränderter Grösse desselben, sehr stark.

Eine Alteration des reinen Seeklimas durch erwärmende Einflüsse ist so viel wie gar nicht in Betracht zu ziehen. Wenn auch die fliessenden Gewässer eines Kontinents in wärmeren Gegenden sich, durch Berührung mit dem Land, um einige Grad im Sommer mehr erwärmen und ihre erwärmten Gewässer in das Meer senden, so gleicht sich das vielfach durch ihre grössere Abkühlung im Winter aus und bleibt dieser Einfluss jedenfalls auf die Temperatur der Gewässer nahe an der Küste beschränkt, während die massgebenden Stationen für das reine Seeklima möglichst weit von der Küste entfernt gewählt werden. HANN findet das auch bestätigt, wenn er S. 19 bemerkt, dass auf der südlichen Halbkugel die Temperaturen der Landflächen, selbst zwischen dem Äquator und 40° südlicher Breite, keinen merklichen Einfluss auf die mittlere Temperatur der Breitekreise haben. Bei den Strömungen der Luft verhält es sich ganz übereinstimmend. Die Landwinde mögen im Sommer etwas zur Erhöhung der Temperatur des Meeres beitragen, aber im Winter kühlen dieselben den Meeresspiegel ab, können somit die mittlere Temperatur des Jahres nicht wesentlich ändern.

Dagegen sind die Einflüsse im Sinne der Erkältung des Seeklimas durch die in sehr hohen Breiten befindlichen Landmassen sehr mächtig und wirken auf sehr weite Distanzen. Die spezifische Eigentümlichkeit der Kälteprodukte solcher Länder be-

steht darin, dass dieselben in einem anderen Aggregatzustand, nämlich als Eis in das Wasser der offenen Meere übergehen und als solches ganz andere Anforderungen bei der Wärmeausgleichung stellen, als wenn sie in tropfbar flüssigem Zustande sich befinden würden. Ein Pfund Eis von 0°, vermischt mit ein Pfund Wasser von 79° C. gibt zwei Pfund Wasser von 0°. Es werden somit 79 Wärmeeinheiten verbraucht nur allein zur Änderung des festen Aggregatzustandes. Während die Einflüsse der von den Kontinenten ausgehenden Wärme auf das Seeklima sehr schwach sind, weiss sich der Einfluss der Kälte, besonders da, wo mit dem Meere eine unmittelbare Verbindung besteht, durch schwimmende Eisberge und Eisschollen in sehr energischer Weise geltend zu machen. Um nur ein Beispiel hierfür anzuführen.

Neufundland hat in 47°,36 n. Br. eine mittlere Jahrestemperatur von nur 4°,5 C. (Hann); Thorshavn (Faröer) aber hat in 62° n. Br. eine mittlere jährliche Temperatur von 6°,3 (Hann). Welche von diesen beiden so stark kontrastierenden Stationen unterliegt nun einem störenden Einflusse? Bei Neufundland schmelzen die Eisberge von Grönland ab; hier ist der starke erkältende Einfluss der fernen nordischen Landmassen evident. Woher hat aber Thorshavn seine hohe Temperatur? Von dem Lande sicherlich nicht, sondern von dem Golfstrome. Das ist aber in Wirklichkeit doch nichts anderes, als die vom Lande unbeeinflusste eigene warme Temperatur des Meeres selbst.

Wenn auch zugegeben ist, dass das Meer ausserhalb des Golfstromes nicht die gleiche Wärme besitzt, so ist anderseits auch nicht in Abrede zu stellen, dass selbst der Golfstrom sich dem Einflusse der kontinentalen Kälteprodukte keineswegs ganz zu entziehen vermag, dass somit das die Küsten der Faröer bespülende und ihr Klima bestimmende Wasser die wirkliche echte Temperatur des Meeres jener Breiten viel mehr annähernd darstellt, während die Temperatur von Neufundland weit davon abliegt.

Auch Dr. Rudolf Spitaler in Wien betont den Unterschied stark genug, ob ein Kontinent oder ein Meer sich in dieser oder in jener Lage auf der Oberfläche der Erde befinde, wenn er sagt (Wärmeverteilung auf der Erdoberfläche, Separatabdruck aus dem LI. Bd. der Denkschriften der kais. Akademie in Wien 1885, S. 11): „am wärmsten wäre eine Hemisphäre dann, wenn sie vom Äquator bis zum 45. Parallel mit Land, von hier bis zum Pol mit Wasser bedeckt wäre; am kältesten, wenn das Gegenteil stattfinden würde,

wenn sie vom Äquator bis zum 45.° mit Wasser, von hier bis zum Pol mit Land bedeckt wäre."

Dr. Spitaler hebt auch an mehreren anderen Stellen seiner Arbeit hervor, dass die verschiedene Wärmeverteilung, einerseits auf der nördlichen, anderseits auf der südlichen Hemisphäre, dem solaren Klima widerspreche (l. c. S. 4) und dass es unmöglich sei, eine einfache Formel aufzustellen, welche nur abhängig sei von der geographischen Breite der Temperatur der Parallelkreise beider Erdhälften (l. c. S. 6). Die Untersuchung über die wirkliche Wärme, welche auf der Oberfläche der ganzen Erde vorhanden ist, führt ihn zu dem Resultat (ähnlich wie früher schon Dove), „dass die ganze Erde im Juli, wo der Sommer auf der Nordhalbkugel sich einstellt, eine mittlere Wärme von 17°,4 C. aufweise; im Januar aber, wo der Sommer auf der Südhalbkugel vorhanden ist, nur von 12°,8 C. und zwar, trotzdem, dass die Erde sich im Januar im Perihel befindet, im Juli aber im Aphel" (l. c. S. 16).

Man sieht daraus deutlich genug, dass die wirkliche bestehende Wärmeverteilung auf der Oberfläche der Erde unlösbare Verwickelungen darbieten würde, wenn man die geographische Lage der Länder und Meere, ob in hohen Breiten oder in niedrigen, unberücksichtigt lassen würde. Man sieht aber auch ferner, dass es nicht oder kaum angehen wird, den Zustand der Überhitzung irgend eines der grossen Ozeane zu begründen. Bei schmalen Meeresarmen wie z. B. bei dem Roten Meer, das zwischen zwei heissen Kontinenten langgedehnt sich hinein erstreckt, wird es annehmbar sein, von einer Überhitzung desselben zu sprechen. Aber bei dem Nordatlantischen Ozean, der sich in mittleren und hohen geographischen Breiten ausdehnt und doch keineswegs als schmal bezeichnet werden kann, kann von einer Überhitzung durch den Einfluss der geographischen Lage keine Rede sein.

Dagegen ist der Fall einer Überkältung eines Ozeans, d. h. einer Anomalie der Temperatur desselben im Sinne der Abkühlung ganz leicht denkbar. Die Ozeane der südlichen Halbkugel insbesondere sind dem Einfluss der anomalen Erkältung ihrer Gewässer durch die antarktischen schwimmenden Eismassen in so hohem Grade ausgesetzt, dass ein überwiegender und anomaler Zustand der Abkühlung dieser Halbkugel, ihrer Meere und Inseln, gar nicht befremden kann. Das überraschende Resultat, dass im Perihel (Januar) die gesamte Erde um 4°,6 C. weniger Wärme besitzt, als in ihrem Aphel (Juli), oder im Sommer der Südhalbkugel weniger als im

Sommer der Nordhalbkugel, fällt so schwer ins Gewicht, dass diese Thatsache allein schon für eine Überkältung der südlichen Meere durch irgend eine Ursache beweisend ist. Wo diese Ursache liege, hat nicht bloss Sartorius angegeben, sondern bestätigt auch Woeikof an vielen Stellen seines mehrfach citierten Buches (cf. l. c. I. Bd. S. 59, 60, 62, 100, 323, 335; II. Bd. S. 413).

Nach solchen Grundsätzen verfährt nun auch Sartorius in seinem Werke in Wirklichkeit, ohne gerade dieselben ausdrücklich zu formulieren. Bei seiner Auswahl der Stationen, die zur Berechnung des reinen Seeklimas die physikalische empirische Grundlage bilden, nimmt er die warmen Stationen, wenn nur die Inseln fern genug vom Lande liegen, ohne Bedenken auf, schliesst aber die auffallend kalten Stationen, als solche, die den Einflüssen der Kontinente unterliegen, aus, und glaubt selbst auf diesem empirischen Weg den Einfluss der Kontinente im Sinne der Erkältung des Meerwassers noch nicht vollständig beseitigt zu haben (l. c. S. 126). Er nimmt jedoch bei beiden Halbkugeln den empirisch beobachteten Wert der Temperaturen an; nur schliesst er in beiden Halbkugeln die am meisten auffallend niedrigen Stationen, z. B. Neufundland auf der nördlichen und Kergueleninseln auf der südlichen Halbkugel aus. Genauer wäre allerdings zu sagen, dass Sartorius die Temperatur der Kerguelen (S. 121) mit Stillschweigen übergeht, sei es nun, dass ihm dieselbe überhaupt nicht bekannt war, oder unzuverlässig erschien, oder dass er dieselbe als zwar empirisch richtig, aber als zu sehr von kontinentalen Einflüssen heruntergedrückt, als unbrauchbar absichtlich ausschloss, oder dass mehrere Gesichtspunkte zusammenwirkten.

Wenn nun auf solcher Grundlage die Berechnung des reinen Seeklimas eine höhere Temperatur für die nördliche Halbkugel liefert, als für die südliche, so stellt und beantwortet Sartorius von Waltershausen die interessante Frage: worin ist die Ursache dieser Differenz zu suchen? Spezieller, worin liegt die Ursache der deutlich grösseren Kälte der südlichen Hemisphäre? Sie liegt in der Existenz eines für die Entwickelung und Ausbreitung der Kälte sehr wirksam gelegenen Kontinents im antarktischen Polarkreise. Im Gebiete der nördlichen Hemisphäre lässt sich der Einfluss der Kontinente noch annähernd ausscheiden, sofern hier Stationen vorhanden sind, welche dem erkältenden Einflusse des Landes wenig ausgesetzt sind; auf der südlichen Halbkugel gelingt das nicht mehr, weil alle Stationen mehr oder weniger diesem erkältenden Einflusse unterliegen, selbst

wenn auch die am meisten abgekühlten ausgeschlossen werden. Professor Hann aber nimmt ohne Bedenken die empirischen Grundlagen der südlichen Halbkugel, weil sie die grössere Wasserbedeckung hat, als normale an und betrachtet die abweichenden Temperaturen der nördlichen Halbkugel als anormal, als überhitzt, ohne einen Grund anzuführen, woher diese Überhitzung rühren könnte.

In seinem etwas später (1883) erschienenen Werke: Handbuch der Meteorologie führt allerdings Prof. Hann als Grund für die höhere Temperatur des nördlichen Atlantischen Ozeans an, dass derselbe sich verengere und dass ein Überschuss von warmem Wasser von der Südhalbkugel durch die stärker wehenden Südostpassate herbeigeführt werde. Damit stimmt auch Woeikof überein, aber letzterer bemerkt in seiner Abhandlung über Gletscher und Eiszeiten „dass der stärkere Südostpassat seinen stärkeren Impuls habe von den kühleren südlichen Meeren“ (l. c. S. 248). Das wird richtig sein, aber dann ist auch offenbar die kühlere Beschaffenheit der südlichen Meere in erster Reihe zu erklären. Wenn diese nicht vorher schon abnorm kühl wären, so wären auch die Südpassate schwächer und der Zutrieb warmer Gewässer in den Nordatlantischen Ozean würde dann aufhören. Die Frage ist somit zuerst zu beantworten: warum sind die Gewässer der Südhemisphäre kälter?

Woeikof seinerseits führt die Gründe hierfür oft genug an, dass „die ungeheure Menge von Eisbergen, die sich vom Südpolarkontinent abtrennen, die Ursache sind, weshalb sowohl in den Tropen, als in höheren Breiten des Atlantischen und Pacifischen Ozeans die Gewässer der südlichen Halbkugel viel kälter sind, als die der nördlichen“ (Klimate I. Bd. S. 59 und an verschiedenen anderen Stellen).

Wie schon oben bemerkt, hat Professor Hann weitere und verbesserte Temperaturbeobachtungen für seine Berechnung der Temperatur der Südhemisphäre benützt und gibt das Resultat derselben, das Seeklima der südlichen Hemisphäre, worauf er sich beschränkt, auf S. 22 seiner Abhandlung an.

Nach Umwandlung in Réaumur'sche Grade der Hann'schen Skala ergibt nun die Vergleichung derselben mit dem Seeklima der nördlichen Halbkugel nach den Angaben bei Sartorius folgende Ziffern:

Tabelle IX.

Breitegrad.	1. Seeklima der nördlichen Halbkugel nach SARTORIUS.	2. Seeklima der südlichen Halbkugel nach HANN.	3. Differenz zwischen beiden; Minderbetrag der südlichen Halbkugel.
0°	ist gemeinsam	ist gemeinsam	—
10°	20°,89 R.	20°,72 R.	0°,17 R.
20°	19°,34	18°,62	0°,72
30°	16°,70	15°,12	1°,58
40°	13°,33	10°,40	2°,93
50°	9°,68	5°,20	4°,48
60°	6°,20	0°,24	5°,96
70°	3°,36	— 3°,84	7°,20
80°	1°,49	— 6°,56	8°,05
90°	0°,84	— 7°,44	8°,28

Diese Zusammenstellung lässt die Abweichung zwischen dem Seeklima der Nord- und Südhemisphäre in typisch ganz übereinstimmender Weise hervortreten, wie die Tabelle VIII. Auch hier steigert sich die Abkühlung gegen den Südpol zu stetig zu ungunsten der südlichen Hemisphäre. Die Differenzen treten aber hier sogar noch bedeutend stärker hervor, was seinen Grund darin haben mag, dass HANN auch die ausnahmsweise kalten Stationen der Kergueleninseln bei den Grundlagen seiner Berechnung aufgenommen hat, während SARTORIUS dieselben, wie schon oben bemerkt, ausgeschlossen hat.

Professor HANN berechnet noch eine andere Temperaturskala aus ozeanischen Stationen im strengsten Sinn (l. c. S. 20); dieselbe erstreckt sich vom 20.°—60.° s. Br.; die Ziffern weichen aber von jenen die auf S. 22 ermittelt wurden, so unwesentlich ab, dass es nicht nötig erscheint, dieselben hier noch besonders beizusetzen.

Zu einem ganz übereinstimmenden Resultate gelangt auch WOEIKOF (Klimate II. Bd. S. 415), der sich dahin ausspricht: „In beiden zur Beleuchtung der klimatologischen Unterschiede gewählten Fälle erkennt man den Charakter der ozeanischen Gebiete im Norden und im Süden. Die letzteren (Meere der südlichen Halbkugel) zeigen gegen die ersteren (Meere der Nordhalbkugel) eine Temperaturverminderung bis zu 8° und 10° C., was sowohl auf die Temperatur der Luft als des Wassers Anwendung findet.“ Gegen die Aufstellungen von FORBES und HANN, welche die Abkühlung der südlichen Hemisphäre direkt mit dem starken Vorherrschen der Meere daselbst in

Verbindung zu bringen geneigt sind, in der Weise, als ob eine vorherrschende Wasserbedeckung an sich abkühlend wirke, auch in höheren Breiten, lässt sich WOEIKOF in eine Erörterung ein. Er lehnt diese Auffassung ab und führt die grössere Abkühlung der südlichen Halbkugel vorzüglich auf das Schmelzen der Eismassen in den südlichen Breiten von 40°—60° zurück (l. c. I. Bd. S. 335 ff.). Es ist auch ganz einleuchtend, dass sich die wärmende Kraft des Wassers gerade in höheren Breiten offenbaren muss, nicht bloss wegen seiner hohen spezifischen Wärme, sondern auch weil die relativ abgekühlten, schwereren, Wasserteilchen in die Tiefe abwärts sinken, so dass die Oberfläche von den wärmsten Partien des Wassers eingenommen wird. Eine Untersuchung der Temperatur des Wassers des Genfersees von FOREL führte zu dem Resultat, dass selbst in Binnengewässern, woselbst nicht einmal Strömungen, wie sie in den Ozeanen stattfinden, vorkommen, die jährliche mittlere Temperatur der Oberfläche des Wassers doch um 2° C. höher ist als die der Luft[1].

Nur die Schmelzwasser der Eisberge des Gletschereises vermögen einen Ausnahmezustand hervorzurufen und eine Abkühlung zu bewirken dadurch, dass das süsse Wasser des Gletschereises wegen Mangels an Salzgehalt leichter ist, als das salzige Meerwasser und sich dadurch länger auf der Oberfläche zu halten vermag. Da nun die schwimmenden Berge des Gletschereises in der Südhalbkugel weit zahlreicher und massenhafter sind, so erfolgt durch dieselben eine sehr fühlbare Abkühlung auch der Oberfläche der Wasser der dortigen Meere. Wo aber keine oder wenige Eisberge abschmelzen und zudem noch warme Strömungen von niedrigen Breiten Eingang finden, da macht sich überall in höheren Breiten die physikalische Natur des Wassers mit Kraft geltend und erhöht die mittlere Jahrestemperatur. Als Belege dafür wurden die skandinavische Westküste und besonders die Faröerinseln angeführt.

Etwas anders gestaltet sich die Sache, wenn nicht das reine Seeklima, sondern das Normalklima in Betracht gezogen wird. Unter Normalklima versteht DOVE bekanntlich jene Summe von Wärme, welche auf einem Breitegrad (sowohl Land als Meer) wirklich vorhanden ist, aber ungleich verteilt ist. Professor HANN weist nun nach, dass das Normalklima auf beiden Halbkugeln im mittleren Durchschnitt wahrscheinlich nahezu gleich ist. Allein das

[1] cf. die Abhandlung WOEIKOF's in den Archives des sciences physiques et naturelles, Genf 1886, S. 9 mit dem Titel: Études sur la température des eaux.

ist in der That nur ein weiterer Beleg dafür, dass das Klima der Südhemisphäre in Wirklichkeit eine Anomalie in sich schliesst. Da nämlich die Südhemisphäre thatsächlich beträchtlich mehr Seebedeckung hat, als die nördliche, die, besonders in höheren und hohen Breiten, weitgedehnte Landmassen aufweist, so sollte, nach allgemein anerkannten Grundsätzen, die südliche Halbkugel nicht bloss ein gleichförmigeres, sondern auch ein wärmeres Normalklima, wenigstens in mittleren und hohen Breiten haben. Ihre vorherrschende ozeanische Beschaffenheit müsste auch das Normalklima in der Richtung beeinflussen, dass dasselbe im Durchschnitt höher wäre, als das der anderen Halbkugel und nicht bloss ihm nahezu gleich. Da dies aber nicht der Fall ist, so muss noch irgend ein anderes Hindernis entgegentreten. Auch das Normalklima der Südhemisphäre weist somit auf einen Faktor hin, der, wenn auch räumlich nicht sehr gross, sich doch in einer geographischen Position befindet, von welcher aus derselbe das Klima der ganzen Halbkugel auf sehr wirkungsvolle Weise beeinflusst und seine Temperatur herabdrückt. Dies kann aber nichts anderes sein, als der antarktische Kontinent.

Die ursprüngliche Beschaffenheit des Klimas weist, wie die Paläontologie nachweist, auf einen sehr hohen Grad der Gleichförmigkeit und Erwärmung hin. Abweichungen von dieser Beschaffenheit, die sich aber verschiedentlich gestalten können, sind auf die späteren Gestaltungen der Erdoberfläche zurückzuführen. Die südliche Halbkugel hat nun allerdings den ursprünglichen Zustand der früheren geologischen Perioden nach einer Seite hin reiner bewahrt, sofern sie die viel umfangreichere Wasserbedeckung besitzt; die nördliche weniger rein, sofern sie mehr Land aufweist und hiermit stimmt ohne Beanstandung überein, dass das Klima der südlichen Halbkugel mehr gleichförmig ist, d. h. in geringeren Schwankungsamplitüden sich bewegt, als das der nördlichen. Aber seltsamer Weise steht die südliche Halbkugel, trotz grösserer Wasserbedeckung und Gleichförmigkeit hinter der nördlichen zurück an Wärme. Eine Folge der grösseren Wasserbedeckung könnte das nur sein in den niedrigen Breiten (Tropen), wo in der That dem Seeklima einige (aber schwache) Abkühlung zukommt. Aber in den höheren Breiten ist durch Beobachtung konstatiert, und steht ganz im Einklang mit den physikalischen Gesetzen, dass die stärkere Wasserbedeckung eine Erhöhung der mittleren Jahrestemperatur hervorrufen müsste, was aber auf der Südhalbkugel nicht zutrifft (Ker-

guelen). Es muss somit in der südlichen Halbkugel ein Faktor vorhanden sein, durch welchen der sonst bestimmt zu erwartende erwärmende Einfluss der grossen Wasserbedeckung, gerade in mittleren und hohen Breiten, gekreuzt und unwirksam gemacht wird. Die nächstliegende und sehr greifbare Ursache liegt offenbar in den sehr grossen Eismassen, die durch ihre Abschmelzung während des Sommers die Sommerwärme sehr bedeutend herabdrücken und damit auch die gesamte mittlere Jahrestemperatur erniedrigen. Man muss aber weiter fragen: woher diese bedeutenden Eismassen, welche jene des Nordpolarkreises anerkannt übertreffe? Sind dieselben Erzeugnisse des frei wogenden offenen Ozeans selbst? Sicher nicht! Man weiss von Landseen und Flüssen, dass der Prozess des Zufrierens vom Land, vom Ufer ausgeht und weiss, dass je weiter vom Land entfernt, desto seltener eine Eisbildung zu stande kommt. Dasselbe gilt auch vom Ozean; das Eis bildet sich an den Küsten, legt sich als Mantel um die Inseln herum und zieht sich von da weg tiefer in den Ozean hinein. Wenn somit keine Küsten und keine Inseln da sind, dann gefriert auch der freiwogende Ozean nicht; wenn aber ausgedehntes festes Land, oder auch nur eine Anzahl von Inseln in recht ungünstiger zentraler Lage, recht nahe um den Pol herum sich vorfinden, so hat die Eisbildung hier sehr günstige Anhaltspunkte; sie kann diese Inseln untereinander verbinden und auf weite Erstreckung hin den freiwogenden Ozean zurückdrängen und in Fesseln schlagen und kann gewaltige Eisprodukte, kontinentale Eisdecken erzeugen, die im Sommer ins Meer abgestossen werden und dort langsam und erst in den mittleren Breiten zusammenschmelzen, wodurch eine sehr empfindliche Abkühlung der Sommertemperatur in diesen Breiten unvermeidlich ist. Das sind wirklich die Zustände der südlichen Hemisphäre. Mag der antarktische Polarkreis auch noch so unnahbar sein, er verrät sein geographisches Geheimnis selbst, dass nämlich in diesen Regionen, in recht zentraler Lage ein grösseres festes Land oder was gleichbedeutend ist, ein durch Eis verbundener Archipel vorhanden sein müsse.

Man kann den antarktischen Kontinent einen hypothetischen nennen, weil derselbe in seinem Innern noch gar nicht erforscht ist, selbst seine Umrisse teilweise problematisch sind; aber derselbe erweist sich in seinen klimatischen Einflüssen auf die ganze Hemisphäre als eine wirklich vorhandene Macht, die von Sartorius nach unserem Dafürhalten mit richtigem Blick gewürdigt wurde.

Die Auffassung dieses um die Beleuchtung der klimatischen

Entwickelung sehr verdienten Gelehrten fand jedoch nicht die allgemeine Beachtung und Zustimmung, welche dieselbe nach unserem Ermessen verdient. In neuester Zeit wird vielmehr wieder mit Vorliebe auf jenen astronomischen Standpunkt zurückgegriffen, der in der Hauptsache von ADHÉMAR aufgestellt wurde.

Zweiter Artikel.

Der ADHÉMAR'sche Standpunkt.

Dieser französische Mathematiker wies im Jahre 1842 darauf hin, dass wegen der Exzentrizität der Erdbahn die zwischen den beiden Äquinoktien liegenden Jahresabschnitte nicht gleich lang seien und das gegenwärtig auf die Südhemisphäre entfallende Wintersemester (Aphel) länger, ihr Sommerhalbjahr (Perihel) dagegen kürzer sei, als auf der Nordhemisphäre, auf welcher die umgekehrten Verhältnisse stattfinden. Die Nachtstunden, Zeiten der Ausstrahlung der Wärme, betragen gegenwärtig auf der südlichen Halbkugel zusammengerechnet 4464 Stunden; die Tagesstunden, Zeiten des Wärmeempfangs, nur 4294. Auf der südlichen Halbkugel ist somit die Zeit des Wärmeempfangs gegenwärtig um 170 Stunden oder ungefähr 7 Tage kürzer, als die Zeit der Wärmeausstrahlung. Die Differenz ist hiernach gegenwärtig nicht sehr bedeutend, kann sich aber nach der Berechnung von LEVERRIER so steigern, dass ein Maximalbetrag von 36 Tagen sich herausstellen kann. Auf der anderen Halbkugel findet eine Umkehrung der Ziffern statt, weil hier der Sommer in das längere Aphel, der Winter aber in das kürzere Perihel fällt. In Halbperioden von 10 500 Jahren wechseln dieselben für die beiden Hemisphären. Dies die Hauptpunkte der Theorie.

Wenn nun die Sache so einfach liegen würde, dass ein absoluter Unterschied (zwischen den Zeiten der Wärmeausstrahlung und des Wärmeempfangs) auf den beiden Hemisphären nicht bloss in bezug der Länge der Zeit, sondern überhaupt alles in allem genommen, bestände, so könnte man ohne Bedenken sagen: weil gegenwärtig der Südhemisphäre der längere Aphelwinter und kürzere Perihelsommer zukommt, der Nordhemisphäre aber umgekehrt der längere Aphelsommer und kürzere Perihelwinter, so muss die erstere (Südhemisphäre) kälter sein, als die letztere. Man müsste dann diesen Standpunkt als einen solchen anerkennen, welcher die vielfach so rätselhaften klimatischen Erscheinungen in den früheren geologischen Perioden zu beleuchten geeignet sein könnte und sogar schliesslich zugleich den Schlüssel in die Hand geben könnte, um

für die Zeitdauer der geologischen Formationen absolute Ziffern ausfindig zu machen.

Aber die Sache liegt anders. Wenn das Wintersemester der südlichen Hemisphäre auch strenger und länger ist, die Zeit der Wärmeausstrahlung daselbst eine längere Dauer hat (Aphel), so ist dafür das Sommersemester daselbst zwar kürzer der Zeit nach, aber wegen der grösseren Sonnennähe um so heisser und zwar in der Weise, dass nach Vollendung des ganzen Jahres eine vollständige Kompensation eintritt. Der gesamte Betrag des Wärmeempfangs während des ganzen Jahres ist auf beiden Halbkugeln genau gleich (Lambert'sche Theorem). Darüber sind die Mathematiker einig; nur soviel kann und muss zugegeben werden, dass eine ungleiche Verteilung der Wärme in den verschiedenen (einander korrespondierenden) Jahreszeiten oder Monaten des Jahres auf der einen und auf der anderen Halbkugel stattfindet. Arago sagt darüber im 4. Band seiner populären Astronomie S. 462: „Werden alle Umstände in Rechnung genommen, so ergibt sich eine vollständige Kompensation; man findet, dass die Sonne trotz der Verschiedenheiten ihrer Entfernung doch beiden Halbkugeln genau die gleiche Wärmemenge spendet; also nicht in einem astronomischen Umstande, der mit der elliptischen Form der Sonnenbahn zusammenhängt, nicht in der Verschiedenheit der Entfernungen dieses Gestirns von der Erde haben wir den Grund zu suchen für die Ungleichheiten der mittleren Temperatur der beiden Erdhalbkugeln. Ich wiederhole nochmals, fährt Arago fort, alles, was jene Verschiedenheit in der Entfernung herbeiführen kann, beschränkt sich auf eine ungleiche Verteilung der Temperaturen in den verschiedenen Monaten des Jahres; in Bezug auf den Mittelwert ist sie gänzlich ohne Einfluss.

In neuester Zeit hat Professor Hann aus Wien in seinem 1883 erschienenen Werke: Klimatologie S. 67 mit grosser Bestimmtheit den Sachverhalt dargelegt. Die Stelle lautet: „Beide Hemisphären erhalten (wie schon Lambert nachgewiesen hat) unter gleichen Breiten von der Sonne gleiche jährliche Wärmemengen, trotz dem Unterschied in der Intensität der Bestrahlung in den gleichen Jahreszeiten. Während der südlichen Deklination der Sonne (dem Sommer der Südhalbkugel) ist zwar die Bestrahlung intensiver, aber die Sonne verweilt auch um nahe 8 Tage weniger lang auf der Südseite des Äquators als auf der Nordseite, weil die Erde sich rascher in ihrer Bahn bewegt in der Sonnennähe, als in der Sonnenferne. Die Astronomie lehrt, dass die Winkelgeschwindigkeit der Erde in

ihrer Bahn im umgekehrten Verhältnis des Quadrats ihrer Entfernung von der Sonne variiert, d. h. also genau in demselben Verhältnis, wie die Intensität der Sonnenstrahlung. Die Wärmezufuhr während eines gewissen Zeitteilchens ändert sich in jedem Punkt der Bahn genau in demselben Verhältnis, in welcher die Länge der Erde während desselben wächst, so dass gleichen Winkeln des radius vector auch stets gleiche Wärmezufuhr entspricht. Ziehen wir von was immer für einem Punkte der Erdbahn eine Linie durch die Sonne zum gegenüberliegenden Punkt, so wird die Erdbahn in zwei Teile zerlegt, welchen gleiche Quantitäten der Strahlung zukommen. Die Ungleichheit der Intensität der Strahlung in den zwei Bahnteilen wird genau kompensiert, auch die entgegengesetzte Ungleichheit in der Länge der Zeit, welche die Erde braucht, um dieselbe zu durchlaufen. So kommt es, dass die nördliche Halbkugel in ihrem Sommerhalbjahr die gleiche Strahlenmenge erhält, als die südliche in ihrem Sommerhalbjahr; dasselbe gilt dann auch für die Winterhalbjahre, ja selbst für die astronomischen und meteorologischen Vierteljahre.

In gleicher Weise spricht sich auch Woeikof in seinem Werke: Die Klimate der Erde, 1887, aus, Bd. II S. 421 u. I S. 64. „Die südliche Halbkugel empfängt ebensoviel Wärme als die nördliche und ihre Verteilung auf die Jahreszeiten ist dieselbe, mit dem kleinen Unterschied, welcher durch die grössere Sonnennähe zur Zeit der südlichen Sonnenwende stattfindet.“

In gleichem Sinne äusserte sich aber auch J. Herschel, dessen Äusserung wir aus einer Abhandlung von Pilar[1] entlehnen: „J. Herschel befasste sich schon 1832 eingehend mit der Diskussion dieser astronomischen Ursachen (der Ungleichheit der Temperatur auf beiden Erdhälften), kam aber damals zu dem Resultate, dass eine Veränderung der Exzentrizität der Erdbahn von keinem Einfluss auf die Temperatur der Erdhälften sein könne, da die Wärmemenge, welche die Erde von der Sonne erhält, in jedem Teile ihrer Bahn im Verhältnis steht zu dem Winkel, den die Erde zum Sonnenmittelpunkt beschreibt. Im Laufe seiner späteren Arbeiten kam J. Herschel zur Überzeugung, dass grosse Veränderungen der Exzentrizität der Erdbahn dennoch von einem beträchtlichen Einfluss auf die klimatischen Verhältnisse der Erdhälften sein müssen, da sie doch direkt auf den Charakter der Jahreszeiten einwirken. Wenn bei

[1] Ein Beitrag zur Frage über die Ursache der Eiszeit. 1876. S. 49

grosser Exzentrizität der Erdbahn die Lage des Perihels dieselbe bleibt wie gegenwärtig, so würde man auf der nördlichen Halbkugel einen kurzen und milden Winter und zugleich einen langen und kälteren Sommer haben; die Gegensätze der Temperaturen würden sich ausgleichen: die südliche Halbkugel aber wäre benachteiligt und minder bewohnbar durch die grosse Temperaturdifferenz zwischen dem kurzen und heissen Sommer in der Sonnennähe und dem kalten langen Winter in der Sonnenferne. Da aber dieser Zustand von keiner Dauer ist, sondern in einem Zeitraum von ca. 11 000 Jahren stets in sein Gegenteil übergeht, so ist es sehr wahrscheinlich, dass die von der Geologie konstatierten zahlreichen Wechsel der Temperatur und der Klimate, in einer Beziehung wenigstens, auf diese Ursachen zurückzuführen sind."

Wenn nun diese Äusserung J. Herschel's so aufgefasst wird, als ob ein Unterschied im Wärmeempfang des ganzen Jahres stattfinde, so ist das sicher ein Missverständnis. Es ist theoretisch richtig, dass bei grosser Exzentrizität die Jahreszeiten der einen Halbkugel (mit dem Aphelwinter) mehr exzessiv verlaufen müssen, somit unangenehmer, stürmischer, für den Anbau mancher Früchte etc. weniger geeignet oder, wie Herschel sagt, „weniger bewohnbar" sind, aber die mittlere Jahreswärme, der mittlere Wärmeempfang des Jahres ist gleich; und um letzteres allein handelt es sich hier. Herschel weicht in der That darin von Arago nicht ab. Letzterer drückt sich nur schärfer und entschiedener aus; ersterer (Herschel) will ein Zugeständnis an die Adhémar'sche Theorie nicht gänzlich von der Hand weisen, aber auch sein Zugeständnis bezieht sich nur auf den „Charakter der Jahreszeiten", auf den grösseren Kontrast der Jahreszeiten unter sich, nicht auf die mittlere Wärmemenge des ganzen Jahres selbst. Das ist nur ein geringes Zugeständnis, dem überdies die erfahrungsmässigen Temperaturbeobachtungen besonders auf der Südhemisphäre nicht einmal zur Seite stehen. Wollte man nämlich die Resultate dieser theoretischen Auffassung praktisch verwerten und dieselben mit den wirklichen bestehenden Temperaturbeobachtungen der Südhemisphäre und Nordhemisphäre vergleichen, so würde genau das Gegenteil derselben sich ergeben. In der That sind nicht die Wintertemperaturen der südlichen Erdkugel als Ganzes betrachtet, exzessiv kalt, wie sie sein müssten nach dieser Theorie, sondern gelind[1]; dagegen aber sind

[1] F. Hann l. c. S. 18, 19. Es wird daselbst die Temperatur ozeanischer Inseln sowohl der nördlichen als südlichen Hemisphäre tabellarisch angegeben.

die Sommertemperaturen der Südhemisphäre, die nach der obigen theoretischen Auffassung hohe sein müssten, daselbst in der That viel zu niedrig.

Selbst die ozeanischen Inseln, deren Temperatur HANN anführt, zeigen auf der Nordhemisphäre viel stärkere Temperaturschwankungen des wärmsten und kältesten Monats, als die ungefähr gleich situierten Inseln der südlichen Hemisphäre, während doch theoretisch das Gegenteil stattfinden sollte. Wir heben nur ein einziges Beispiel hervor, das in wirklich charakteristischer, fast extremer Weise die klimatischen Zustände der Südhemisphäre nach verschiedenen Seiten zu illustrieren geeignet ist. Die Kergueleninseln liegen unter ca. 49° s. Br. und haben eine mittlere Jahrestemperatur von 4°,3 C.; der wärmste Monat zählt 7°,0 C., der kälteste + 2°,0 C. (HANN l. c. S. 14). Man sieht hier ausser der sehr geringen mittleren Jahrestemperatur eine sehr grosse Gleichförmigkeit der Jahreszeiten beziehungsweise des wärmsten und kältesten Monats, deren Differenz nur 5° C. beträgt; ferner eine sehr geringe Sommerwärme, aber einen gelinden Winter; das sind in allweg vollendete Gegensätze gegen die theoretischen Aufstellungen der Anhänger ADHÉMAR's, wie sie gegenwärtig infolge der Exzentrizität auf der südlichen Halbkugel stattfinden sollten. Prof. HANN nimmt ebenfalls Akt von diesen Temperaturverhältnissen und äussert sich auf S. 2 seiner Schrift: „es ist dies eine ganz auffallend niedrige Jahrestemperatur für den 49.° und zwar ist es die Sommertemperatur von nur 6°,4 C. (etwas geringer als die Temperatur des wärmsten Monats, die oben angeführt wurde), welche diese Anomalie hervorbringt, während eine Wintertemperatur von ca. + 2° gemässigt genannt werden kann."

Nicht minder befremdend ist die Thatsache, dass die exzessivsten Schwankungen der Temperatur mit der strengsten Winterkälte auf die Nordhalbkugel fallen. Hier sollten, wenn die ADHÉMAR'sche Theorie mit den wirklichen Verhältnissen übereinstimmen würde, gelinde Wintertemperaturen vorhanden sein, weil das sonnennahe und kürzere Semester (Perihel) gegenwärtig mit dem Winter der Nordhalbkugel zusammentrifft. Dagegen finden sich hier thatsächlich die eigentlichen Kältepole sowohl im nördlichen Amerika als im nördlichen Asien, begleitet, selbst in hohen Breiten, von überraschend warmen Sommern (Sibirien und Canada). Europa hat allerdings ein mildes Klima mit schwachen Temperaturschwankungen, allein dieser Erdteil ist geographisch eine Halbinsel von Asien und

partizipiert somit, wie auch allgemein anerkannt ist, an den Eigenschaften des milden insularen Klimas. Überdies finden auf der nördlichen Halbkugel (62.^{0}) die grössten Temperaturgegensätze: Faröer und Jakutsk Raum zu ihrer Existenz. Die Temperatur des antarktischen Kontinents selbst ist freilich gänzlich unbekannt.

Eine derartige Inkongruenz mit den Beobachtungen ist misslich. Sie beweist nicht, dass die ADHÉMAR'sche Auffassung theoretisch falsch sei, aber sie beweist, dass unter den Faktoren, welche das Klima bestimmen, und wäre es auch nur, was die Verteilung der Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten und Monate anbelangt, die Folgen der Exzentrizität durchaus nicht in erster Reihe stehen, sondern in concreto so schwach sind, dass sie von anderen Faktoren leicht ganz verdeckt und vielfach sogar in ihr Gegenteil verkehrt werden.

In der That ist auf der Südhalbkugel der mehr maritime Charakter und auf der Nordhalbkugel der bestehende mehr kontinentale Charakter derselben weit mehr ins Gewicht fallend bei der konkreten Gestaltung des Klimas und macht sich empirisch allein geltend, ungeachtet ihm theoretisch die Einflüsse der Exzentrizität direkt entgegengesetzt sind. Die gelinden Winter der ozeanischen Inseln in den südlichen Meeren haben offenbar in der stark hervortretenden ozeanischen Beschaffenheit der ganzen Hemisphäre ihren Grund: ihre sehr kühlen Sommer sind auf das massenhafte Abschmelzen des Eises vom Rande des antarktischen Kontinents in dieser Jahreszeit zurückzuführen. Auf der mehr mit festem Land ausgestatteten Nordhalbkugel treten andere klimatische Erscheinungen auf. Weil dieselbe weniger maritim ist, so haben selbst die Inseln vielfach kältere Winter und weil auch die Abschmelzung des Eises der arktischen Länder im Sommer weniger massenhaft ist, so sind ihre Sommer wärmer. Die ozeanischen Inseln der Nordhalbkugel und überhaupt die ganze Nordhalbkugel haben empirisch stärkere Schwankungen der Temperaturen trotz ihres theoretisch kurzen und milden Perihelwinters und längeren aber kühleren Aphelsommers; die südliche Halbkugel aber hat trotz ihres theoretisch längeren und strengeren Aphelwinters, empirisch mildere Winter und durchaus keine heissen, sondern sehr kühle Sommer, wenigstens auf den dem Eisgang ausgesetzten Inseln. Das sind die realen Zustände.

Allerdings ist die Exzentrizität heutzutage nur eine ganz mässige, und, wenn dieselbe eine höhere Stufe erreicht, könnte sie sich auch für die Beobachtung fühlbarer machen; allein es bleibt sehr fraglich,

ob sie je den Einfluss einer vorherrschend kontinentalen oder maritimen Beschaffenheit einer Halbkugel ausgleichen oder gar überbieten könne. Aber auch einen solchen Einfluss noch als möglich zugestanden, so würde doch der Wärmeempfang des ganzen Jahres immer der gleiche bleiben auf beiden Hemisphären, wenn auch auf die Monate verschieden verteilt. Nur in einem Falle dürften die Einflüsse der Exzentrizität auf die Verteilung der Wärme der Jahreszeiten sich in der Wirklichkeit wahrnehmbar machen, wenn nämlich eine vollständige Gleichförmigkeit der Erdoberfläche, sei er nun vollständige Meeresbedeckung oder vollständige Festlandbildung bestünde. In diesem Falle würden je nach Massgabe und Stärke der Exzentrizität auch die Sommer und Winter beider Hemisphären den entsprechenden Charakter empirisch wahrnehmbar an sich tragen, wenn auch schliesslich der Wärmeempfang des ganzen Jahres sich auch hier ausgleichen würde. So lange aber die Erdoberfläche einen gemischten Charakter hat, Land und Meer und diese zudem in sehr ungleicher Verteilung und Position in den beiden Erdhalbkugeln sich befinden, so überwiegt dieser viel stärkere Einfluss jenen der Exzentrizität so stark, dass derselbe als empirisch nicht vorhanden anzusehen ist.

In der That kann man auch nicht umhin, zuzugestehen, dass ein direkter Einfluss der Exzentrizität auf das gesamte gegenwärtige Klima nicht vorhanden sei; es wird deshalb von mehreren Schriftstellern der Versuch gemacht, einen thatsächlichen, wenn auch indirekten Einfluss aus der Lage der Kalmen abzuleiten.

Die mittlere Lage der Kalmen im Atlantischen und Stillen Ozean fällt nicht auf den geographischen Äquator, sondern ist immer um mehrere Grade auf die nördliche Halbkugel übergeschoben und fällt ziemlich genau mit dem Wärmeäquator zusammen. Das wird als eine thatsächliche, wenn auch indirekte Folge davon betrachtet, dass die südliche Halbkugel gegenwärtig den längeren (Aphel) Winter habe, die nördliche aber den längeren (Aphel) Sommer. Man wird keinen besonderen Wert darauf legen dürfen, dass es an sich diffizil sein möchte, eine indirekte Wirkung noch festzuhalten, nachdem die direkte Wirkung prinzipiell aufgegeben worden ist. Aber abgesehen hiervon darf bei dem Studium über die Lage der Kalmen doch der dritte grosse Ozean, der Indische, nicht ausser Betracht gelassen werden. Wenn dieselbe in irgendwelcher direkten oder indirekten Weise abhängen würde von dem Sonnenstand, der offenbar die ganze Hemisphäre beeinflussen muss, so müsste auch dieser Ozean die

entsprechenden Erscheinungen zeigen; die Kalmen müssten auch hier das ganze Jahr über auf die Nordseite, über den Äquator hinüber fallen. Das ist nun aber nicht der Fall. Die Lage derselben schwankt hier vielmehr so, dass dieselben im Juli ca. 20° nördlich vom Äquator liegen und im Januar nahezu ebenso weit südlich vom Äquator (cf. WETTSTEIN: Strömungen etc. Charte 15 u. 16, S. 276). WETTSTEIN bringt die stark schwankende Lage derselben unbedenklich in Zusammenhang mit der Lage des Strichs der höchsten Temperatur, welche im Juli selbstverständlich im Norden des Äquators und im Januar im Süden desselben sich befindet. Es erscheint somit nicht so fast die Lage der Kalmen im Indischen Ozean, als vielmehr die Lage derselben im Atlantischen und Stillen Ozean als eine in der That anomale, die aber nach allem, was bisher schon erörtert wurde, nicht auf die Exzentrizität der Erdbahn zurückzuführen ist, sondern auf die erniedrigte Temperatur der Südhemisphäre durch den Einfluss des antarktischen Kontinents.

Dass diese Ursache auf den einen Ozean stärker, auf einen anderen schwächer einwirken kann, wird nicht zu beanstanden sein.

Viel sachlicher und den thatsächlichen Verhältnissen besser entsprechend wäre eine Hinweisung darauf, dass durch das vorspringende Horn der brasilianischen Küste, das Kap S. Roque, der Äquatorialstrom zu einem überwiegenden Teile in die nördliche Hemisphäre hinübergelenkt werde, wenn auch ein schwächerer Teil desselben, die brasilianische Strömung, nach Süden sich wendet. Solche konkrete geographische Thatsachen, die freilich lediglich kein Prinzip darstellen, und auch nur auf den Atlantischen Ozean allein Anwendung finden würden, könnten in der That einen ausschlaggebenden Einfluss in der Verteilung der warmen Wasser ausüben und könnte speziell hierdurch der Nordhalbkugel mehr erwärmtes Wasser zugeführt werden, als ihr geographisch gebührt, wie umgekehrt der Südhemisphäre weniger, als ihr zukommt. Allein Dr. KRÜMMEL, der (cf. Die äquatorialen Meeresströmungen des Atl. Ozeans S. 49) diesen Umstand auch in Erwägung zieht, betont, dass diese Mehrzufuhr warmen Wassers in die Nordhalbkugel durch die Guineaströmung alsbald ausgeglichen werde, indem durch sie ein jenen Gewässern entsprechendes Äquivalent warmen Wassers wieder zurück in den Busen von Guinea und in die südliche Äquatorialströmung geführt werde. KRÜMMEL hebt noch besonders hervor, dass gerade dann, wenn die Äquatorialströmung ihre nördlichste Grenze und höchste Geschwindigkeit erreicht, wenn somit die stärkste Zufuhr warmen

Wassers in den nördlichen Teil des atlantischen Meeres stattfindet, die Guineaströmung auch ihrerseits den stärksten Stromgang entfaltet und das Gleichgewicht wiederherstellt (l. c. S. 49).

Unseres Erachtens bietet somit auch die Lage der Kalmen im Atlantischen und Stillen Ozean keinerlei reellen Anhaltspunkt dar, um auf einen ungleichen Wärmeempfang, wäre es auch nur durch ungleiche Verteilung der Gewässer der äquatorialen Meeresströmung, zurückzuschliessen.

Adhémar's Theorie bietet aber noch eine andere Seite dar, die selbst noch von den heutigen Vertretern derselben als selbstverständlich ohne weiteres Bedenken in Anwendung gebracht wird, die aber einer sachlichen Prüfung bedarf. Man nimmt es als ganz selbstverständlich an, dass jene Erdhalbkugel, welche den langen strengen Aphelwinter hat und den kurzen aber entsprechend warmen Perihelsommer, vorzüglich dazu geeignet sei, die Eisanhäufungen und Gletscherbildung in hohem Grade zu begünstigen. Die andere Halbkugel mit dem langen aber kühlen Aphelsommer und dem kurzen milden Winter, der dem Perihel entspricht, soll hierzu nicht geeignet sein. Das ist jedoch gar nicht selbstverständlich. Die erstere Halbkugel (heutzutage die Südhalbkugel mit dem Aphelwinter) müsste somit ein Klima (theoretisch) haben, welches dem Kontinentalklima, nicht der Ursache, aber dem Charakter, dem wirklichen Verlauf der Temperatur nach, entspricht. Aber gerade das Kontinentalklima begünstigt trotz seines langen strengen Winters und kurzen heissen Sommers die Schnee- und Eisanhäufungen entschieden nicht. Ein bekanntes Beispiel ist Sibirien, das, trotz seines langen strengen Winters, wegen seines kurzen heissen Sommers keine permanenten oberflächlichen Eisanhäufungen und Gletscher besitzt.

Die andere Halbkugel aber (heutzutage die nördliche mit dem langen aber kühlen Aphelsommer und milden kurzen Perihelwinter) soll für Eisanhäufungen ungeeignet sein. Dieses Klima stimmt in seinem Charakter mit dem ozeanischen überein. Nach unbestrittenen Beobachtungen, nicht bloss in den Alpen, sind aber gerade kühle ozeanische Sommer und gelinde Winter der oberflächlichen Eisanhäufung sehr günstig.

Dass in Neuseeland und an der Südspitze von Südamerika die Gletscher ein so üppiges Gedeihen haben und sogar an die Eiszeit in Europa lebhaft erinnern, rührt durchaus nicht von einem exzessiven Klima daselbst, nicht von einem sehr bedeutenden Unterschied der Jahreszeiten mit strenger Winterkälte her, sondern ist

im Zusammenhang mit der gleichmässigen ozeanischen kühleren Temperatur besonders des Sommers. Wenn in diesen Gegenden ein langer scharfer Winter, aber auch ein kurzer warmer Sommer Platz greifen könnte, so würde auch dort wie im kontinentalen nördlichen Asien eine Entblössung, jedenfalls eine bedeutende Einschränkung der Gletscher erfolgen. Eine sibirische Kälte des Winters mag tief in den Boden eindringen (Scherginschacht), aber der sibirische kurze und warme Sommer lässt keine Eisanhäufungen auf der Oberfläche aufkommen, sondern schafft dieselben jedes Jahr hinweg.

Man kann bei diesem Thema kaum die Bemerkung unterdrücken, dass sich unter manchen Vertretern der Adhémar'schen Theorie, wohl ganz unbewusst, eine Art abgekürzten Sprachgebrauchs zu bilden angefangen hat, der das einemal vielfach den langen strengen Winter betont, ohne des kurzen, aber wegen der Sonnennähe heissen Sommers zu gedenken; das anderemal des langen Sommers, ohne hinzuzufügen, dass dieser trotz seiner längeren Dauer von Anfang bis zu Ende ein kühlerer Sommer ist, weil er in das Aphel fällt. Auf solche Weise kann man dann ganz unvermerkt zu Äusserungen gelangen wie zum Beispiel: während des langen Winters wächst das Eis an, wie ein Geschwür und breitet sich immer mehr aus etc. Allein der kurze warme Sommer übt auch seine Macht aus; denn je kürzer derselbe ist infolge der Exzentrizität, desto heisser ist er infolge der nämlichen Exzentrizität, der grösseren Sonnennähe entsprechend. Den Winter und seine Wirkungen kann man einseitig nur betonen auf Hochgebirgen und in sehr hohen Breiten; bei den ersteren, weil die Dünnigkeit der Luft eine irgend ausgiebige Erwärmung auch zur Sommerszeit nicht zulässt; in sehr hohen Breiten aber fallen die Sonnenstrahlen auch im Sommer so schief auf, dass wiederum keine namhafte Erwärmung eintreten kann. Zeuge davon ist der ewige Schnee an beiden Örtlichkeiten. Allein die Exzentrizität bleibt hier ganz aus dem Spiel; jene beiden Lokalitäten haben vermöge ihrer tellurischen Lage einen stark prononzierten Winter, dem immer nur ein schwächlicher Sommer entgegensteht, falle nun letzterer mit dem Perihel oder Aphel zusammen und würde sich daran nichts ändern, wenn auch die Erdbahn ganz genau kreis-förmig wäre.

Aber das Beispiel von Sibirien beweist, dass schon in etwas weniger hohen Breiten (Jakutsk in 62° n. B.) die kurzen aber warmen Sommer nicht mit Stillschweigen übergangen werden dürfen und das gilt offenbar noch in erhöhtem Grade von niedrigem ebenem Land in mittleren Breiten.

Selbstverständlich ist, dass, wie bei allen Temperaturerscheinungen, so auch hier der Satz gilt, dass die Maxima sich verspäten. Das Maximum der Kälte des Aphelwinters fällt über das Wintersolstitium hinaus und die winterlichen Erscheinungen ziehen sich noch eine Zeit lang über das Frühjahrsäquinoktium hinüber. Allein auch das Maximum der Wärme des Perihelsomms fällt überer das Sommersolstitium hinaus und die Wärme greift noch über das Herbstäquinoktium hinüber. Es findet einige Verschiebung, einige Retardation der Temperaturen, wie heutzutage statt, sowohl bei dem Sommer- als bei dem Wintersemester; aber ebendeshalb kann von einer absoluten Präponderanz der einen, nämlich der kalten Jahreszeit keine Rede sein, ausser in Hochgebirgen und in sehr hohen Breiten.

Ferner ist selbstverständlich, dass die Hinwegräumung der Kälteprodukte des Winters unter allen Umständen für sich ein Quantum Wärme in Anspruch nimmt. Allein die Kälteprodukte werden nicht durch die Exzentrizität allein hervorgerufen; selbst bei einer genau kreisförmigen Bahn würde in gewissen Breiten und in gewisser Höhe über dem Meere Schnee und Eis im Winter sich bilden, die durch den Sommer wegzuschaffen sind. Der Exzentrizität könnte bloss insofern eine Rolle zufallen, als der kühlere Aphelsommer eine längere Zeit hierzu brauchen würde als der intensivere Perihelsommer. Aber beide bewältigen schliesslich doch die Produkte des Winters; der Aphelsommer langsamer, aber er kann seine längere Dauer dafür einsetzen; der wärmere Perihelsommer wohl rascher, aber seine Dauer ist auch geringer. Nur in den höchsten Breiten und in den höchsten Gebirgslagen erlahmt die Kraft des Sommers gegenüber jener des Winters. Das würde aber bei einer genau kreisförmigen Bahn der Erde in gleicher Weise zutreffen, sofern die Stellung der Erdachse unverändert bleibt.

Dass aber dem Aphelwinter eine Bevorzugung nach der Seite hin nicht einzuräumen sei, dass er Schnee- und Eisanhäufungen auf der Oberfläche begünstige, wurde schon oben auseinandergesetzt.

Von manchen Vertretern der Adhémar'schen Theorie wird sodann auch die regelmässige Alternation der kalten und warmen Halbperiode auf je der einen oder anderen Halbkugel preisgegeben. Nach Penck (Vergletscherung der deutschen Alpen, S. 452) wird dieser Schritt von Wallace gethan: „Ja fragen muss man sich mit Wallace ob denn je überhaupt jene gewaltigen Eismassen, welche einst in Europa 115 000 Quadratmeilen und in Nordamerika 361 000 Quadratmeilen bedeckten, in einer Interglazialzeit von 10 500 Jahren

gänzlich reduziert werden konnten. A. R. WALLACE verneint in seinem neuesten Werke diese Möglichkeit; nach ihm werden die Perioden grosser Exzentrizität nur anfänglich durch Eisanhäufungen ausgezeichnet, welche auf beiden Hemisphären alternieren, später jedoch, wenn die Eismassen so beträchtlich werden, dass sie in einer Interglazialzeit nicht weggeschmolzen werden können, sammelt sich auf beiden Hemisphären zugleich Eis an und in ihrem weiteren Verlauf werden die Perioden grosser Exzentrizität durch gleichzeitige Vergletscherung auf beiden Halbkugeln charakterisiert."

Unwillkürlich drängt sich aber hier die Frage auf: wenn wirklich unter dem Einflusse und durch die Kraft einer Periode mit langem Aphelwinter sich auch nur auf der einen, sagen wir nördlichen Halbkugel, einmal solche Massen Eises sollten angehäuft haben, dass die kurzen aber heissen Perihelsommer derselben Periode mit diesen Kälteprodukten nicht mehr aufzuräumen sollten vermocht haben, dass auch ferner, nach erfolgter Umkehrung der Halbperiode, die jetzt eintretenden langen aber kühleren Aphelsommer sie nicht mehr zu bewältigen vermocht hätten, sondern Eisanhäufung auf Eisanhäufung folgte; — man fragt sich, wenn durch den Einfluss der Exzentrizität sich solche Zustände herausbilden konnten, wie ist es dann jemals möglich geworden, dass die Oberfläche der Erde doch noch zu irgend einer Zeit von der Last dieses Eispanzers befreit werden könnte? In der Gegenwart insbesondere ist der Unterschied, der durch die Exzentrizität hervorgerufen wird, wenn man sich auf den Boden der Theorie selbst stellt, nur mässig, wie schon oben angegeben wurde. Sollte eine so wenig stark prononzierte Periode wie die gegenwärtige im stande gewesen sein, die Eismassen der Quartärzeit auf der nördlichen Hemisphäre wegzuschmelzen? Die Quartärzeit ist doch keine entlegene geologische Periode, sondern geologisch der rezenten unmittelbar vorangegangen. Oder sollte sich zwischen Quartärzeit und Gegenwart eine sehr scharf prononzierte Periode der Exzentrizität eingeschoben haben? Welchen Charakter müsste dann diese Periode gehabt haben, um die im Besitz befindlichen Eismassen wegzuräumen? Das sind Fragen auf die man keine Antwort hat.

Es wurde oben auseinanderzusetzen gesucht, dass die Jahreszeiten selbst, möge die Exzentrizität sein, welche sie wolle, sich schliesslich doch das Gleichgewicht setzen, dass also eine Anhäufung der Kälteprodukte über alle Jahreszeiten hinüber nicht stattfinden könne, oder doch nur auf Hochgebirgen und in sehr hohen Breiten

Platz greifen könne. Sieht man aber einen Augenblick davon ab, lässt man die Möglichkeit einer fast unbegrenzten Anhäufung der Kälteprodukte auch anderwärts zu, so ist die finale Abschmelzung derselben die doch in der That stattgefunden hat, geradezu unerklärlich.

Die Jahreszeiten und Halbperioden mussten doch jenen Grundcharakter, den ihnen die Exzentrizität aufdrückte, bewahren und geltend machen und eben dieser Charakter schliesst solche masslose Störungen des Gleichgewichts der Jahreszeiten der Halbperioden untereinander aus; denn den langen Aphelwintern einer Halbperiode stehen kurze aber wegen der Sonnennähe um so heissere Sommer gegenüber und umgekehrt: den milden Perihelwintern folgen zwar lange aber nur kühle Sommer. Die Jahreszeiten jeder Periode, soweit sie von der Exzentrizität beeinflusst werden, stellen unter sich im Laufe jedes Jahres die gleiche Summe der mittleren Jahreswärme wieder her.

Wenn nun aber doch Eisanhäufungen im Laufe der Quartärperiode, welche ebendeshalb den Namen Eiszeit sich erworben hat, aus irgend welchem Grund als vollendete Thatsache, in überraschend grossem Massstab stattgefunden haben, was nicht bestritten wird, so kann dieser Zustand nicht von der Exzentrizität veranlasst worden sein und ebenso muss auch für die Remedur eine andere Ursache gesucht werden. Die Sommer insbesondere konnten niemals unter dem Einflusse der Exzentrizität ein solches Übergewicht erlangen um ein einmal thatsächlich vorhandenes Übergewicht der Eisanhäufung hinweg zu räumen. Und doch ist jene Eisanhäufung der Quartärzeit auf der nördlichen Halbkugel, von der Wallace spricht, nicht mehr vorhanden. Wie ist sie weggekommen? Wenn man auf den Gedankengang von Wallace sich noch soweit einlassen dürfte und könnte, dass man die Möglichkeit einer ununterbrochenen Anhäufung des Eises über warme und kalte Jahreszeiten und sogar Halbperioden hinüber noch anerkennen wollte, so ist keine Möglichkeit vorhanden, ein Ende derselben zu irgend einer Zeit abzusehen. Die Eisdecke müsste dann bis heute fortbestehen und für alle Zeiten die Oberfläche des Planeten, mit Ausnahme etwa der Tropen bedecken, wie auch in der That die höchsten Höhen der Hochgebirge und die höchsten Breiten der Erde nie von Schnee und Eis frei sind. Und doch ist es nicht so. Die Eiszeit der nördlichen Halbkugel in ihren mittleren Breiten ist vorüber und die Quartärperiode trägt sichtlich den Charakter einer ausnahmsweisen und

vorübergehenden Periode an sich. Man wird sich dem Eindruck nicht verschliessen können, dass durch WALLACE die ADHÉMAR'sche Theorie auf eine Spitze getrieben wird, wo sie zusammenzubrechen droht. Sobald die Alternation der in ihrer Eigentümlichkeit verlaufenden, wenn auch schliesslich sich doch das Gleichgewicht haltenden Jahreszeiten und Halbperioden verlassen wird, so ist das Prinzip schon in einem so wesentlichen Punkte beseitigt, dass es als verlassen anzusehen ist.

Aber gerade deshalb ist es bedeutungsvoll, wie nun bei WALLACE und bei PENCK, der sich ihm anschliesst, ein anderweitiges Prinzip emporzutauchen beginnt.

Dr. PENCK sieht sich veranlasst, die Bedeutung der geographischen Bedingungen hervorzuheben: „das Auftreten von Gletschern ist an bestimmte geographische Verhältnisse gebunden, wie man leicht aus der Verteilung der heutigen Eisströme entnehmen kann. Gletscher finden sich heute nur in Gebirgen und selbst die eiszeitlichen Gletscher gingen stets von Gebirgen aus. Fehlen Gebirge, so fehlt der Ausgangspunkt irgend welcher Vereisung. Würden wir uns die skandinavischen und schottischen Hochlande vom Norden Europas entfernt denken, so würden wir keinerlei quartäre Vergletscherung derselben beobachten können und ebensowenig würden wir uns eine Vergletscherung Nordamerikas denken können, ohne das im Norden gelegene Grönland. Aber nicht alle Gebirge sind in gleichem Masse zur Gletschererzeugung geeignet. Die in maritimen Klimaten gelegenen Gebirge erzeugen die verhältnismässig grössten Gletscher" (Dr. PENCK l. c. S. 451).

Dass hiermit von PENCK und WALLACE jenes Prinzip, welches SARTORIUS VON WALTERSHAUSEN zuerst aufstellte und konsequent durchführte (und dem auch wir schon in einer früheren Abhandlung vom Jahre 1875 in den Württ. naturw. Jahresheften S. 85 gefolgt sind, wenn auch mit wesentlichen Modifikationen) wenigstens aushilfsweise beigezogen werde, ist deutlich genug ersichtlich, obwohl die Exzentrizität als Grundlage und Prinzip von ihnen noch immer beibehalten wird.

Nun drängt sich aber diesem solchergestalt abgeänderten Standpunkte gegenüber wieder die Frage auf: wenn den Gebirgen nach PENCK zwar eine Mitwirkung für die Herbeiführung der Eiszeit zugestanden werden will, als Hauptursache aber doch die Exzentrizität beibehalten wird, — welche Macht war dann im stande, die mit Beihilfe der Gebirge vollbrachte Thatsache der Vereisung so zu re-

duzieren, wie sie auf der nördlichen Halbkugel heutzutage reduziert ist und damit die Eiszeit zu beendigen?

Wenn durch die langen und strengen Aphelwinter einer Halbperiode auf einer Hemisphäre, und zwar unter Beihilfe der Gebirge, die Vereisung zu stande kam und ihre schon damals bestehenden Perihelsommer nichts dagegen vermochten, so konnten auch die kurzen, warmen Perihelsommer irgend einer anderen folgenden Halbperiode dieselbe nicht wieder verdrängen; denn schon während des Zustandekommens dieser Vereisung bestanden ja die, den langen Aphelwintern entsprechenden, von ihnen unzertrennlichen, kurzen und warmen Perihelsommer. Die bleibende Vereisung hätte somit, wenn den Perihelsommern eine so stark eingreifende Kraft überhaupt zugeschrieben werden dürfte, gar nie zu stande kommen können, sondern wäre in ihren ersten winterlichen Anfängen jedesmal wieder durch den unmittelbar folgenden warmen kurzen Perihelsommer unterdrückt worden.

Ebensowenig vermochten das die langen aber kühlen Aphelsommer der nächsten oder irgend einer der folgenden Halbperioden, da anerkannt ist, dass gerade kühle Sommer in den Gebirgen (Alpen) das Wachstum der Gletscher besonders befördern.

Wollte man aber, freilich im Gegensatz wohl zu allen Vertretern der Adhémar'schen Theorie, dahin seine Zuflucht nehmen, dass man gerade jene Halbperioden, welche kühle und lange Sommer und milde Winter auf einer Halbkugel bedingen, als die eigentlichen förderlichen Zeiten der Vereisung im Gebirge auffasst, so würde man sich wieder in andere Widersprüche verwickelt sehen. Da nämlich gegenwärtig, wie schon oben dargelegt wurde, dieser Zustand infolge der Exzentrizität auf die nördliche Halbkugel Anwendung finden würde, so müsste diese jetzt ihre Eiszeit haben und die südliche Halbkugel müsste jetzt das entgegengesetzte Klima haben. Das widerspricht aber allen Beobachtungen und widerspricht insbesondere der Thatsache, dass für die nördliche Halbkugel die Eiszeit entschieden der Vergangenheit angehört, somit nach der Adhémar'schen Theorie selbst, einer früheren Periode, welche einen anderen, also entgegengesetzten Charakter getragen haben müsste, als die gegenwärtige. Dr. Penck hebt wohl den an sich ganz richtigen Gedanken hervor (l. c. S. 449), dass die Gletscher die Kälte der höheren Regionen in die Niederungen herabbringen und dadurch eine Überhandnahme der Eismassen auch in die tiefere Lagen bewirken. Aber die Schwierigkeiten werden auch hierdurch nicht be-

seitigt. Wenn nämlich die Sommer jener Halbperiode, während welcher die Gletscher sich bildeten und ihre grosse Ausdehnung erlangten, gleichviel ob sie kurz und warm oder lang und kühl waren, nicht im stande waren, die Ausbreitung der Eismassen und das Herabsteigen der Gletscher aus der Höhe in die Niederung zu verhindern, so sind auch die Sommer irgend einer späteren Halbperiode, haben dieselben einen Charakter, welchen sie wollen, ausser stande, eine solche Leistung zu vollbringen. Denn auch diese sind jeder Zeit entweder kurze und warme oder aber lange und kühle Sommer, je nachdem sie in das Perihel oder Aphel fallen. Eine Periode aber, welche lange und zugleich heisse Sommer hätte, deren man für eine solche Leistung wohl bedürfte, ist gerade auf dem Standpunkte der Adhémar'schen Theorie unbedingt als unzulässig ausgeschlossen.

Die Verwickelungen lösen sich somit nicht auf, auch wenn man die Gebirge als mitwirkende Ursache hinzunehmen wollte, so lang die Exzentrizität als das Hauptprinzip festgehalten werden will.

Man wird all diesen logischen Schwierigkeiten nur dann entgehen können, wenn man die Gebirge selbst, unter Verzicht auf die Exzentrizität, je nach ihrem Entwickelungsstadium, sowohl für das Eintreten der Vereisung, als auch für das Aufhören derselben verantwortlich macht. So lange nämlich die Gebirgsketten in sich geschlossen und durch keine Querthäler zerstückelt sind, bewirken dieselben eine Anhäufung der Schneemassen, die nicht aus dem Gebirge herausgeschafft werden können. Wenn die Gebirge aber späterhin, durch Erosion der Querthäler, in sich zerstückelt worden und Bahnen nach der Niederung am Fusse des Gebirges hin eröffnet sind, so wälzen sich die angesammelten Eismassen als Gletscher von grosser Mächtigkeit in die Niederungen hinab, durch deren einheimische Wärme sie erst im Laufe der Zeiten der Schmelzung unterliegen mussten.

Diese Auffassung wurde von uns schon in der oben citierten Abhandlung aufgestellt (Württ. naturw. Jahreshefte, 1875) und näher begründet, während Sartorius glaubte, eine anfängliche grössere Höhe und späteres Niedersinken der Gebirge annehmen zu sollen, um den Eintritt und das Aufhören der Eiszeit zu motivieren.

Die nächsten Kapitel werden die Verbindung zwischen den geographischen und klimatischen Zuständen behandeln.

Die Untersuchungen darüber schliessen sich an die Erörterungen

über das Klima der Südhemisphäre aus dem Grunde am geeignetsten an, weil gerade die geographische Beschaffenheit dieser Halbkugel hervorstechende Eigentümlichkeiten aufweist. Die Verteilung des Festen und Flüssigen daselbst ist so, dass eigentlich nur eine einzige Zone derselben im Verhältnisse zu ihrem Rauminhalt stark, sei es mit festem Land, oder mit stets gefrorenem Wasser besetzt ist, die südliche Polarzone; die anderen Zonen besonders die gemässigten haben im Verhältnisse zu ihrem Umfang wenig Land aufzuweisen; dagegen breiten sich hier die Ozeane um so mehr aus.

Hier drängt sich nun die Frage auf: Ist das ganz zufällig? Ist dies eine vollendete Thatsache, wofür keinerlei Grund einzusehen ist? Ist insbesondere das eigentümliche Klima der Südhemisphäre nur eine Folge dieser Anordnung des Festen und Flüssigen, oder haben vielleicht die klimatischen Zustände selbst ihren Teil dazu beigetragen, dass die geographische Beschaffenheit sich gerade so gestaltet hat, wie sie dermalen ist? Wir glauben in den folgenden Kapiteln nachweisen zu können, dass hier in der That eine Wechselwirkung obwaltet zwischen klimatischen und tellurischen Zuständen.

Zweites Kapitel.

Die südliche Hemisphäre als ein Gebiet vorherrschender Senkungen.

Die Geographen weisen auf eine Anzahl Erscheinungen hin, welche einen nicht zu verkennenden Unterschied zwischen der Nord- und Südhemisphäre erkennen lassen. Dieselben sind: die grössere Ausdehnung und Tiefe der Meere der südlichen Halbkugel, das auffallend zahlreiche Auftreten von Laguneninseln in dem Stillen Ozean und im Indischen Ozean und die auffallend verschiedene Form der Landmassen, die nach den südlichen Gegenden hin sich schmal zuspitzen (Südspitze von Südamerika, Afrika und die beiden indischen Halbinseln), anderseits nach den nördlichen Gegenden hin breit und flach auslaufen (breite Landmassen des nördlichen Asien und Amerika). Peschel nennt das Homologien der Form. Diese Erscheinungen verraten offenbar eine gewisse Beziehung untereinander und lassen sich unter dem gemeinsamen Gesichtspunkt einer vorherrschenden Senkung im Bereich der südlichen Hemisphäre zusammen auf-

fassen. Wenn das Gebiet der südlichen Hemisphäre gegenüber der nördlichen Halbkugel als der Schauplatz einer stärkeren Senkung des Meeresbodens aufgefasst werden darf, so sind diese Erscheinungen keineswegs rätselhaft, sondern ergeben sich ganz einfach als Konsequenzen. Wenn der Meeresboden der Südhalbkugel sich lebhafter senkt, so wird er vom Meere in weiterem Umfange und grösserer Tiefe bedeckt, so werden an geeigneten Stellen die Erscheinungen sinkender Laguneninseln sich einstellen; so werden auch auf dem stärker sich senkenden Gebiet die Landmassen vorherrschend geschmälert werden, während dieselben auf der entgegengesetzten Halbkugel in breiten und flachen Massen aus den seichteren Meeren auftauchen.

Die Thatsachen sind vorhanden; die Frage ist aber diese, ob die Ursachen einer stärkeren Senkung auf der Südhemisphäre sich darlegen lassen und ob dieselben mit den klimatischen Verhältnissen in einem Zusammenhang stehen?

Unsere Antwort geht kurz gefasst dahin: das Vorhandensein eines antarktischen Kontinents in so ungünstig zentraler Lage um den Pol herum und die mit demselben zugleich ins Dasein gerufenen klimatischen Vorgänge sind die Ursache der stärkeren Senkung der Südhemisphäre.

Diese Auffassung ist aber näher zu begründen.

Denkt man sich das Vorhandensein des antarktischen Landes als eine gegebene Thatsache, so ist unzertrennlich damit in seinem Bereich ein kontinentales Klima verbunden. Sobald ein Kontinent sich herausgebildet hat, so ist damit auch das kontinentale Klima in jener Beschaffenheit, wie sie durch die geographische Lage (Breite) bedingt wird, inauguriert. Wie beschaffen das Klima dieses Kontinents sein müsse und welche Vorgänge sich infolge desselben einstellen mussten, lässt sich bestimmt sagen, weil ja diese Vorgänge noch heutzutage fortdauern. In der langen Winternacht gewinnt die Ausstrahlung der Wärme gegen den freien Himmelsraum, d. h. die Kälte, eine gewaltige Kraft. Darauf folgt zwar der ebenso lange Sommertag, aber in jenen Breiten, die der antarktische Kontinent einnimmt, fallen die Sonnenstrahlen jederzeit sehr schief auf und vermögen kaum ausgiebige Wärme hervorzurufen, während die Ausstrahlung der langen Nacht mit keinem Winkel zu schaffen hat. Deshalb ist die Kraft des Winters sehr stark, die des Sommers sehr schwach. Das trifft besonders für die antarktischen Land-

massen in voller Stärke zu; anderwärts liegen die Verhältnisse schon etwas günstiger, wie beispielsweise in Sibirien (Jakutsk). Unter dem 62.° der nördlichen Breite hat die Kraft der Sonnenstrahlen im Sommer eine nicht mehr zu unterschätzende Bedeutung; aber der antarktische Kontinent bedeckt mit seiner Masse nahezu zentral den ganzen Polarkreis und ragt nur mit spitzen Zipfeln und schmalen Säumen über denselben da und dort hervor. Die Sonnenstrahlen fallen somit auf dem ganzen Gebiet desselben sehr schief auf. Sieht man von der gebirgigen Beschaffenheit desselben, die heutzutage besteht, ganz ab, so müssen sich schon um dieser geographischen Lage willen, die Kälte und die Kälteprodukte in ausserordentlich hohem Grade geltend machen können. Auf jene Kälte, welche den Boden des Kontinents selbst beschlägt und die sich durch Luftströmungen weiterhin mitteilen kann, ist aber das Hauptgewicht nicht einmal zu legen, sondern darauf, dass die Produkte der Kälte massenhaft und direkt allseitig in das offene Meer übergeleitet werden. Die grossen Eismassen, die sich an den Rändern des erkalteten Kontinents bilden, brechen ab und schwimmen fort; die Gletscher ergiessen sich in das Meer und es ist allseitig zugegeben, dass das antarktische Gebiet darin Gewaltiges leistet, Gewaltigeres noch als die Landmassen der arktischen Polarländer. Die Eismassen schwimmen fort, schmelzen nach und nach ab und das kalte Wasser sinkt zu Grunde. Das Meerwasser hat nach den neuesten Untersuchungen seine grösste Dichtigkeit bei + 0,45° C. So niedrig stellt sich die Temperatur der tiefsten Gewässer des Meeres; und in der That schwankt nach den gemachten direkten Beobachtungen die Temperatur der tiefen Gewässer der Ozeane um diesen Betrag herum, gleichviel, ob diese Gewässer unter den Tropen, oder in mittleren Breiten, oder im Polarkreise sich befinden.

Sobald nun eine solche kalte Strömung auf dem Grund der Ozeane durch alle Breiten- und Längengrade hin sich geltend zu machen anfing, so wurde an den Meeresgrund, an den festen Boden, welcher die Erstarrungsrinde der Erdkugel auch unter den Meeren bildet, eine ganz bedeutende Wärmeabforderung gestellt, oder was die gleiche Bedeutung hat, eine Abkühlung desselben hervorgerufen. Wir halten den Ausdruck „Wärmeabforderung" für richtiger, weil derselbe die besondere Art und Weise der Abkühlung bezeichnet. Die Abkühlung des Meeresgrundes geht in der That so vor sich, wie wenn über eine Steinplatte von mässig hoher Temperatur ein eisig kalter Strom Wasser hingeleitet wird. Wie energisch

diese Art von Abkühlung sich vollzieht, davon kann man jederzeit sich überzeugen, wenn man einen erwärmten Stein in kaltes fliessendes Wasser legt und anderseits einen gleich grossen Stein mit gleicher Erwärmung an der Luft abkühlen lässt. Die Wärmeabforderung von dem Stein, der in das kalte fliessende Wasser gelegt ist, ist vielmal stärker, ungestümer, als jene von dem Stein, der an der Luft erkaltet, auch wenn die Temperatur der Luft und des Wassers die gleiche ist. Bei sehr grossen Temperaturunterschieden des Wassers und des heissen Steines gibt nicht nur das zischende Geräusch Zeugnis von der Heftigkeit der Wärmeabforderung, sondern auch die schnelle fast augenblickliche Zunahme der Temperatur des Wassers. Das Wasser hat wegen seiner Eigenschaft als flüssiger Körper sowohl vor festen als auch luftförmigen Körpern den Vorzug einer besonderen Energie der Wärmeabforderung von solchen Gegenständen, mit denen es in Berührung kommt; schon das gefrorene Wasser, das Eis, hat als ein fester Körper diese Eigenschaft in viel geringerem Grade. Wenn also das kalte Grundwasser der Meere mit dem Meeresboden in Berührung kommt, so muss letzterer in sehr kräftiger Weise abgekühlt werden. Faye drückt sich ganz richtig aus, wenn er sagt, dass unter den Meeren die Abkühlung der Erdkugel lebhafter und tiefer vor sich gehe, als unter den Kontinenten, während neuere Autoren das Gegenteil annehmen zu müssen glauben. Im nächsten Kapitel werden wir nochmals auf diese Vorgänge zurückkommen. Vorerst wäre anzuerkennen, dass auf dem Meeresboden der südlichen Erdhälfte mehr noch als der nördlichen, Jahr aus Jahr ein, Tag und Nacht, ohne dass ein erwärmender Sonnenstrahl einzudringen vermag, ein eisigkalter Strom sich ergiesst, der mit nachhaltiger und ungeminderter Kraft die Wärme desselben abfordert und entführt; denn sobald die Temperatur des Wassers sich zu heben anfängt, durch die dem Meeresboden entzogene Wärme, so steigen die leichter gewordenen Gewässer empor und an ihre Stelle tritt wiederum Wasser von niedrigerer Temperatur, um den Wärmeabfluss nie stille stehen zu lassen. Die scheinbar viel näher liegende Ausgleichung der in verschiedener Tiefe verschieden warmen Wasserschichten des Ozeans untereinander selbst, kann nicht stattfinden, weil dieselben einander fliehen. In dem weiten Raum der Meerestiefe werden die kalten Gewässer unten, die warmen oben durch ihr verschiedenes Gewicht festgehalten, streben auseinander, anstatt ineinander, so dass eine direkte Ausgleichung derselben untereinander nicht oder nur unvollständig er-

folgen kann. Zusammenstösse, wie zwischen dem warmen Golfstrom und kalten Labradorstrom, sind Ausnahmen. Es ist somit der Meeresboden allein oder wenigstens in der grössten Ausdehnung der den Anforderungen des kalten Wassers erreichbar ist und in Anspruch genommen werden muss, um die Temperaturausgleichung zu vollziehen.

Die weitere Folgerung ist nun ganz einfach: wenn auf dem Meeresboden, namentlich der Südhemisphäre, eine so lebhafte Wärmeabforderung und Abkühlung vor sich geht, so findet daselbst eine entsprechende Verminderung des Volumens des Meeresbodens statt, das ist: eine Senkung und als sichtbarer Ausdruck desselben stellen sich jene geographischen Eigentümlichkeiten ein, deren eingangs Erwähnung geschah; insbesondere wird die Meeresbedeckung daselbst umfangreicher und tiefer sein. Dem Einwurf muss jedoch wiederholt begegnet werden, als ob dem antarktischen Kontinent bei der Abkühlung eine unmotivierte Ausnahmstellung eingeräumt worden wäre; es wurde demselben in der That keine andere Stellung zuerkannt, als diejenige, die er seiner geographischen Lage und seiner Beschaffenheit nach in Wirklichkeit beansprucht und besonders auch gegenüber den arktischen Landmassen behauptet. In dem nördlichen Polarkreise liegen die Landmassen nicht zentral, sondern mehr oder weniger auf die Peripherie verteilt, so dass Nordenskiöld[1] neuerdings sich sogar zu einem offenen, eisfreien nordpolaren Eismeere zu bekennen geneigt ist. Im Gebiet des südlichen Polarkreises liegen die Verhältnisse anders; die Landmassen nehmen dort eine ganz zentrale Lage an. Hiermit ist nicht ausgeschlossen, sondern sogar wahrscheinlich, dass im antarktischen Gebiet nicht eine ununterbrochene wirkliche Landbildung bestehe; es mag dort in Wirklichkeit ein Archipel aus einer grösseren Anzahl von Inseln zusammengesetzt bestehen; aber diese Inseln sind durch nie auftauendes Eis verbunden und gewinnen hierdurch vollständig den Charakter eines Kontinents. Dem Eis kommen die physikalischen Eigenschaften des Wassers in betreff der Wärme nicht mehr zu; dasselbe hat die Eigenschaften fester mineralischer Körper und ein durch Eis bleibend zusammenhängender Archipel ist in der That ein Kontinent. Die antarktischen Landmassen, auch wenn sie im Grunde nur ein Archipel waren, sind ein antarktischer Kontinent geworden, der von den nordischen Polarländern die zentrale Lage

[1] Die Umsegelung von Asien etc. I. S. 237.

voraus hat. Dies ist der Grund seiner überwiegenden klimatischen Bedeutung. Die Seefahrer, die es versucht haben, in die südlichen Polargegenden vorzudringen, sind auch alle darin einig, dass die Kälteprodukte desselben unbestreitbar überwiegend seien. „Die bedeutenden Eismassen des südlichen Eismeeres, die sich oft in einer Höhe von 100 m in die südlichen Teile der anderen Ozeane erstrecken, sind die Hauptlagerstätten des kalten Wassers“ (Andree); sind deshalb auch, darf hinzugefügt werden, die Hauptursache der überwiegenden Senkung des Meeresgrundes dieser Hemisphäre.

Wie im vorigen Kapitel, so besteht auch hier eine Konkurrenz mit der Adhémar'schen Auffassung, welche eine weitere Darlegung verlangt.

Die Vertreter dieses Standpunktes ermangeln nicht zu betonen, dass ihre Auffassung sie befähige, die namhaft gemachten geographischen Erscheinungen der Südhemisphäre befriedigend zu erklären. Dieselben nehmen zu diesem Zwecke eine, unter dem Einflusse des spezifischen Klimas der südlichen Halbkugel entstandene meilendicke Anhäufung von Schnee und Eis auf dem antarktischen Kontinent an, dem ein so grosser Umfang und so grosses Gewicht beigemessen wird, dass durch den Einfluss desselben der Schwerpunkt der Erde selbst eine Verrückung erlitten habe und infolgedessen ein Zudrang der Flüssigkeit auf der Oberfläche der Erde gegen die antarktischen Gegenden hin stattgefunden habe.

Mit dieser Annahme einer so gewaltigen und einseitig überwiegenden Vereisung ist zwar nicht recht gut in Einklang zu bringen, dass auch in den Nordpolarländern Anhäufungen des Schnees thatsächlich stattfinden (Grönland), so dass beide Gewichte einander entgegenarbeiten und sich zu paralysieren suchen; und ferner, dass nicht bloss Anhäufung statt hat, sondern auch massenhafter Abgang von Eisbergen und Eisschollen. Will man aber auf diesen Einwand keinen endgültigen Wert legen, da immerhin ein relativer Überschuss auf der Südhemisphäre sich doch herausstellen kann, so ist nicht in Abrede zu stellen, dass hierdurch für die geographischen Eigentümlichkeiten der südlichen Halbkugel einiges Licht gewonnen ist. Die vom Meere bedeckten Räume werden daselbst umfangreicher und die Meere selbst tiefer sein; auch die abweichenden Umrisse der Kontinente gegen Süd und gegen Nord hin, sowie die Lagunen, als überflutete Inseln, gewinnen dadurch eine Beleuchtung. Diese Erklärung kann aber doch nur bei oberflächlicher Betrachtung befriedigen. Das Hauptgebrechen des Adhémar'schen Standpunktes,

abgesehen von der Schwierigkeit der Motivierung einer Eisansammlung von solchem Umfang, liegt darin, dass durch denselben nur ein Zudrang der Gewässer nach dem Südpol hin, nicht aber eine wirkliche überwiegende Senkung des Meeresbodens, der südlichen Halbkugel begründet werden kann.

Wenn aber nur ein Zudrang der Gewässer und keine weitverbreitete Senkung des Meeresbodens stattfinden würde, so müssten die Erscheinungen des tieferen Eintauchens auf allen Punkten der Südmeere gleichmässig vorhanden sein, wie umgekehrt ein allgemeines gleichförmiges Auftauchen der Landmassen auf der Nordhalbkugel; denn die Gewässer halten ihr Niveau überall ein und stellen, wo sie unter sich kommunizieren, dasselbe im Fall der Störung alsbald wieder her. Das ist aber nicht der Fall; die Westküste von Neuseeland sinkt, seine Ostküste steigt; die Westküste von Südamerika steigt und so fort; — und umgekehrt auf der Nordhalbkugel sinkt die Nordküste von Deutschland und Frankreich und die Südküste von England. Das sind nur einige Beispiele, die leicht vermehrt werden könnten; sie sind aber nicht zu vereinigen mit dem Adhémar'schen Standpunkt; jedenfalls müssten noch andere Gesichtspunkte und Ursachen herbeigezogen werden um diese rätselhaften abweichenden Vorgänge zu erklären. Die von uns gegebene Erklärung wird hierdurch nicht beeinträchtigt. Durch eine vorherrschende und überwiegende wirkliche Senkung des Meeresboden der Südhemisphäre ist eine teilweise da und dort auftretende Hebung im Bereiche desselben gar nicht ausgeschlossen, sogar, wie im nächsten Kapitel dargelegt werden wird, eingeschlossen.

Sodann müssten nach Adhémar'scher Auffassung gegen den Südpol hin die Wassermassen stetig zunehmen und dort ihre grösste Tiefe zeigen, weil dort die Ursache der Störung des Gleichgewichts ist. Das ist aber auch nicht der Fall. Die grössten Tiefen der Meere befinden sich in den niedrigen geographischen Breiten und vorzüglich unter den Tropen. Im Atlantischen und Indischen Ozean fällt die grösste Tiefe deutlich innerhalb der Tropen (cf. Krümmel: Vergleichende Morphologie der Meeresräume Tabelle I, II, III). Im Stillen Ozean sind zwar die Tiefen innerhalb der Tropen auch grösser, als die mittleren Durchschnittsziffern (l. c. Tabelle IV), sowohl südlich als nördlich vom Äquator; die grösste Depression fällt jedoch hier auf den 40.^{0}—50.^{0} n. Br. (Tuskarora-Tiefe). Dis Meerestiefe konvergiert somit keineswegs gegen den Südpol zu, wie es nach Adhémar's Theorie sein müsste, sondern sie divergiert von

beiden Polen weg gegen die mittleren und niedrigen Breiten hin. Man könnte noch hinzufügen, dass man keinen Grund einsieht, warum, nach der ADHÉMAR'schen Auffassung, das antarktische Polarland nicht schon längst von dem zudrängenden Meere überflutet sein sollte, da doch der Andrang gerade nach dieser Region hin, in welcher die Ursache der Gleichgewichtsstörung liegen soll, gerichtet sein muss.

Mit der oben von uns vorgetragenen Auffassung steht auch die Anordnung bei Abstufung der Meerestiefe in ihren Hauptzügen im Einklang. Die Ströme des kalten Meerwassers breiten sich aus auf dem Grund des Meeres von den Polarländern weg nach dem Äquator zu. Dieselben kommen zwar dadurch in den Bereich höherer Wärmegrade, aber die Temperatur der Grundwasser wird hierdurch, wie auch die Beobachtung bei den Lotungen zeigt, kaum geändert, weil immer die kältesten, besser die dichtesten Wasser auf den Grund nachsinken. Deshalb kann sich auch die abkühlende Kraft derselben und was sonst in ihrem Gefolge eintritt, auf dem Meeresgrunde forterhalten bis zu den Tropen und bis zum Äquator. Die Umwandlung des Wassers in Dampf geschieht hier (unter dem Äquator) am stärksten; zur Wiederherstellung des Niveaus nehmen deshalb hier, wie auch die Beobachtung bestätigt[1], die kalten Gewässer des Meeresgrundes eine vertikal aufsteigende Richtung nach der Oberfläche zu an und veranlassen jenes System von Strömungen, das unter den Tropen eine so grosse Regelmässigkeit zeigt. Aber nicht bloss die warmen Gewässer der Oberfläche zeigen hier eine lebhafte Bewegung, sondern auch in der Tiefe des Ozeans unter den Tropen muss, korrespondierend, eine raschere Bewegung des Zuströmens der kalten Wasser bestehen und durch dieselbe wird auch die Abforderung und Fortführung der Wärme des Meeresgrundes beschleunigt und gesteigert; oder was die gleiche Bedeutung hat, es treten dort die stärkeren Senkungen des Meeresgrundes ein, die Meere erlangen unter den Tropen durchschnittlich die grösste Tiefe. Jene mehr abgeschlossenen Binnenmeere, welche, wie das romanische Mittelmeer, durch untermeerische Barren vor dem Eintritt der kalten Grundwasser des Ozeans geschützt sind, bewahren auch in ihrer Tiefe eine beträchtlich höhere Temperatur. So findet man in dem Mittelmeer, dessen Verbindungspforte mit dem Atlantischen Ozean bei Gibraltar nur 500 Faden beträgt, noch in einer Tiefe von 3000 m eine Wassertemperatur von $12^0,8$ C., während in den grossen Ozeanen

[1] cf. KRÜMMEL, Die äquatorialen Meeresströmungen, S. 16.

in solcher Tiefe schon Temperaturen von 2°—3° C. vorkommen (cf. KRÜMMEL: Vergleichende Morphologie der Meeresräume, S. 104). Dagegen erreichen, ohne Zweifel aus der gleichen Ursache, die Gewässer der Binnenmeere auch nie jene grossen Tiefen, welche den offenen Ozeanen zukommen.

Drittes Kapitel.

Hebungen als Korrelat der Senkungen.

Wenn die Oberfläche einer bis zu einem gewissen Grad erwärmten und dann der Abkühlung ausgesetzten Kugel so beschaffen ist, dass dieselbe sich überall ganz gleichmässig abkühlen kann, so wird auch eine gleichmässige Verminderung ihres Volumens eintreten.

Anders verhält es sich, wenn die Abkühlung an verschiedenen Stellen ungleich vor sich geht. Letzteres trifft wenigstens heutzutage zu bei der Erdkugel, schon aus dem Grunde, weil ihre Oberfläche teils aus festem Land, teils aus Wasser besteht, die sich bei der Abkühlung jedenfalls nicht ganz gleich verhalten. In jenen Teilen, welche der Abkühlung in höherem Grade günstig sind, wird die Volumenverminderung stärker sein; sie verwandeln sich in Gebiete der Senkung, wovon im vorigen Kapitel die Rede war; jene Teile aber, die zur Abkühlung weniger geneigt sind, können sich unter Umständen in Gebiete der Hebung verwandeln, dann nämlich, wenn die Energie der Senkung in dem eigentlichen, überwiegenden Senkungsgebiete stark genug ist, um in den weniger sich abkühlenden Gegenden eine Senkung nicht nur nicht zu stande kommen zu lassen, sondern dort das Korrelat der sinkenden Bewegung, eine Hebung, hervorzurufen.

Von seiten der Physik steht hierbei kein prinzipielles Hindernis entgegen. PFAFF äussert sich darüber in seinem Grundriss der Geologie S. 158: „das Niedersinken einzelner Teile der Erdrinde veranlasst auf der anderen Seite Hebungen, so dass die letzteren nur eine Folge der ersteren sind.“ In der Einleitung zu seiner neuesten Schrift (Mechanismus der Gebirgserhebung, S. 3) konstatiert er, dass, so verschieden auch sonst die Anschauungen sein mögen, darin alle neueren Ausführungen über Gebirgsbildung übereinstimmen, dass sie die Schwere der Erdrinde als das bewegende Prinzip bei der Gebirgsbildung annehmen, durch welche ein Druck ausgeübt werde. Ferner äussert sich PFAFF ebendaselbst S. 105: „Was die vertikalen

Bewegungen anbelangt, so bietet deren Erklärung gar keine Schwierigkeit dar bei der Voraussetzung eines flüssigen und erkaltenden Erdkernes unter einer festen Rinde; wir müssen sie im Gegenteile geradezu als eine physikalische Notwendigkeit bezeichnen, indem eben die Schwere bewirkt, dass von den durch die Kontraktion erzeugten einzelnen Stücken der Erdrinde (Schollen) einige nach dem flüssigen Erdinnern folgen konnten, wodurch Veranlassung zur Hebung anderer leichterer gegeben war, jedenfalls aber ein Steigen des Niveaus des inneren flüssigen Erdkerns hervorgebracht werden musste, welches den Wirkungen der Abkühlung des flüssigen Erdkerns, der Schrumpfung desselben entgegenarbeitet." PFAFF berührt hierbei nicht einmal die Notwendigkeit einer ungleichen Abkühlung, ohne Zweifel weil er die Ungleichheit als selbstverständlich voraussetzt. Wir werden jedoch dieselbe einlässlicher nachweisen müssen. Dagegen halten wir die von PFAFF verlangte und betonte Bedingung eines in feurig flüssigem Zustand befindlichen Erdinnern, doch nicht für ein absolutes Erfordernis. Es wird genügen anzunehmen, dass das Erdinnere, dem jedenfalls eine sehr hohe Temperatur zukommt, gegen einen Druck der von der Oberfläche aus wirkt, schon seiner hohen Temperatur wegen nicht unnachgiebig im strikten Sinne des Wortes sei, was auch mit einer festeren Konsistenz desselben im gewöhnlichen Sinn dieses Wortes, recht wohl zu vereinbaren ist. Jene Gebiete somit, welche der stärksten Abkühlung unterliegen, üben durch ihre Senkung einen Druck auf ihre Unterlage aus, und da diese Unterlage als nicht unnachgiebig anzunehmen ist, so werden die unterlagernden Teile demselben auszuweichen suchen. Da ferner eine ungleiche Abkühlung und ein ungleicher einseitiger Druck stattfindet, so werden dieselben nach jenen[1] Seiten hin auszuweichen suchen, welche keinem oder auch einem relativ viel geringeren Druck unterliegen. Im vorigen Kapitel wurde auf die tiefen Meeresräume hingewiesen, in welchen durch

[1] Bei Annahme eines feurig-flüssigen und zwar tropfbar-flüssigen Erdinnern würde ein Druck, der von einer Stelle ausgeht nach allen Seiten hin gleichmässig wirken und dementsprechend eine gleichmässige Hebung aller anderen Seiten veranlassen. Das ist ein Grund, der die Annahme eines tropfbar-flüssigen Erdinnern unrätlich erscheinen lässt, denn die Unebenheiten des festen Landes sprechen dafür, dass die Hebungen (infolge der Senkungen) sich ungleichmässig ausbreiten. Dagegen äussern sich die Wirkungen eines Drucks bei zwar nicht unnachgiebiger, aber auch doch nicht tropfbar-flüssiger, sonderen schwerer zu bewegenden Beschaffenheit der Unterlage so, dass sie sich in der Nachbarschaft der Gegend, von welcher der Druck ausgeht, am stärksten zeigen.

starke Wärmeabforderung starke Senkung hervorgerufen wird, woselbst somit auch ein starker Druck auf die Unterlage besteht. Diesen Meeresräumen stehen gegenüber die Kontinente, oder zunächst besser gesagt: jene Archipele, die sich später zu Kontinenten entwickelt haben, welche jedoch immerhin einen Gegensatz zu den tiefen Meeren bilden, nicht bloss sofern ihre Oberfläche nicht von Wasser bedeckt ist und mit der Luft in Berührung steht, sondern auch darin schon, dass deren untermeerische Sockel sich aus den eigentlichen kalten Meerestiefen herausheben. Wie werden sich nun diese Regionen des festen Landes bei der Abkühlung verhalten? Kühlen sie sich schneller ab oder langsamer als die den tiefen Meeresräumen unterlagernden Teile der Erdrinde?

Auf dem Festland kommen an sich höhere Kältegrade vor, die jene der Gewässer am Meeresgrund bedeutend übertreffen. Sieht man von den Tropen ganz ab, so kommen in den gemässigten Zonen in gewissen Jahreszeiten mehr oder weniger bedeutende Überschreitungen des Nullpunktes des Thermometers in negativer Richtung vor. In den Polarländern fällt sogar die mittlere Jahrestemperatur ansehnlich unter den Gefrierpunkt. Ein tieferes Eindringen in die Tiefen der Erde gehört jedoch zu den Ausnahmen. In mittleren Breiten (Paris) ist in einer Tiefe von ca. 80′ keine Spur einer Temperaturschwankung von der Oberfläche her mehr zu finden, weder im Sinne der Erwärmung noch der Erkältung. In Sibirien (Jakutsk) mit einer Mitteltemperatur von — 10° C., besteht jedoch ein sogenannter ewiger Eisboden und erstreckt sich dort auf eine wahrscheinliche Dicke von ca. 600′ (Scherginschacht). Dass auch Grönland und andere arktische Gebiete einen Beitrag zu dem ewigen Eisboden liefern können, und dass insbesondere das Innere des antarktischen Kontinents tief von ewigem Froste gebunden sein könne, ist wohl möglich, aber keineswegs sicher, weil die dort bestehende Kruste von Eis und Schnee dem Vordringen des Frostes in die Tiefe hinderlich ist. Sicher ist, dass die Hochgebirge der Kontinente keinen ewigen Eisboden haben; die verschiedenen Durchbohrungen in den Tunnels geben darüber ganz bestimmten Aufschluss. Die Einwirkungen der Kälte auf die Tiefe ist somit doch nur eine lokal begrenzte und es fragt sich überdies, ob man die Tiefe von 600′, welche schon mehr als der mittlere Betrag des gesamten Eisbodens in Sibirien zu sein scheint, überhaupt wirklich eine Tiefe nennen könne. Für den menschlichen Betrieb ist dieselbe ansehnlich genug, aber für das was man die Erdrinde zu nennen pflegt, ist die-

selbe schon verschwindend klein und noch mehr für den ganzen Erdradius. Mögen auch die Wirkungen des Frostes auf der Oberfläche des Festlandes für Pflanzen und Tiere von sehr grosser Bedeutung sein, der Einfluss auf das, was man die Erdrinde nennt, deren Dicke unter allen Umständen auf eine Anzahl von Meilen geschätzt werden muss, ist verschwindend klein. Es könnte fast auffallen, warum die oft intensive Kälte der Winter in mittleren und hohen Breiten so wenig in die Tiefe greift. Allein die Schneedecke hält die Wärme des Erdbodens zusammen und wehrt dem Vordringen der Kälte der Luft; und zudem sind die Zeiten der Kälte kurz bemessen und zerstückelt; sie sind schon innerhalb 24 Stunden in zwei ungleiche Hälften, Tag und Nacht, zerteilt, wo der Tag oft schon hereinbringt, was in der Nacht an Wärme verloren ging; die grossen Unterbrechungen aber geschehen durch den Wechsel der warmen und kalten Jahreszeiten. Die geringen Erfolge des Frostes beim Eindringen in die Tiefe erklären sich hierdurch genügend.

Bei der Abkühlung auf dem Grunde der Meere liegen die Verhältnisse ganz anders.

Von einer Unterbrechung der Abkühlung des Meeresgrundes durch Tages- oder Jahreszeiten ist selbstverständlich keine Rede. Eine schützende Hülle für den Meeresgrund, wie die Schneedecke für die Oberfläche der Erde ist, gibt es nicht; der unersättlich die Wärme abfordernde und fortführende eisige Strom des kalten Wassers hält sich ununterbrochen in unmittelbarer Berührung mit der festen Rinde. Es wurde schon im vorigen Kapitel auf ein ganz einfaches Experiment hingewiesen, um ermessen zu können, welch tiefgehende Abkühlung daraus erfolgen muss.

Eine grosse Bedeutung kommt aber ferner dem Umstande zu, dass die Abkühlung des Meeresgrundes erst in sehr ansehnlichen Tiefen einsetzt. Wenn der Scherginschacht in Sibirien lehrt, dass dort erst in ca. 600′ Tiefe eine Temperatur von 0° sich einstellen wird, so lehren die Lotungen in der Tiefsee, dass dort in einer Tiefe von 20000′ und darüber keine höhere Temperatur als ca. 0° besteht. Unter dem Scherginschacht fängt die Temperatur von der Tiefe von 600′ abwärts in positivem Sinne zu steigen an, und zwar wie anderwärts um ungefähr 1° C. ca. für 100′; sie wird somit dort in einer Tiefe von 20000′ schon ungefähr nahezu 200° C. erreicht haben. In solcher Tiefe setzt aber die abkühlende Kraft, welche auf den Meeresgrund einwirkt, erst ihre ganze ungebrochene Energie ein, um von da aus eine Temperaturausgleichung nach der

Tiefe zu erwirken und es lässt sich ermessen, dass ihre Wirkung, nämlich die Abkühlung und Volumverminderung des Meeresgrundes sich sehr weit in die Tiefe der festen Rinde hinab erstrecken wird. Wenn nun auch das Thermometer hier seine weitere Dienste versagt, so ergeben sich doch Aufschlüsse durch die geodätischen Arbeiten, d. h. durch die Beobachtung der Dichtigkeit aus den Pendelschwingungen. Wir entnehmen darüber einen Passus aus Professor Pilar: Grundzüge der Abyssodynamik, 1881, S. 74. „Zu Ende des vorigen Jahrhunderts", sagt Pilar, „und im ersten Drittel dieses Jahrhunderts erwachte ein reges Interesse für die Pendelbeobachtungen. Man trug das Pendel überall hin und beobachtete auf Kontinenten, an Meeresküsten, in der Mitte des Meeres, auf den Inseln und selbst auf den kleinen Korallenriffen. Als es aber dazu kam, die Resultate der verschiedenen Expeditionen zu vergleichen und nach der Clairaut'schen Formel auszurechnen, fand man, dass die Schwere auf den Kontinenten schwächer wirkt, obwohl ein Überschuss an Masse vorhanden ist, während anderseits über den Meeren, trotz des augenscheinlichen Mangels an Masse, die Schwerkraft sich beständig viel grösser erweist. Nach Faye hat Saigny die erhaltenen Resultate so zusammengestellt, dass er auf die eine Seite die unter der durchschnittlichen Anziehungsstärke zurückbleibenden Beobachtungen brachte, auf die andere Seite aber jene Beobachtungen stellte, welche eine grössere Anziehungskraft aufweisen. Er fand, dass bis auf zwei alle zu starken Attraktionsbeobachtungen auf die offene See fielen und alle zu schwachen, bis auf eine einzige, auf den Kontinenten vorkamen. Es genügt somit nicht mehr mit den Geodäten zu behaupten, dass unterhalb der Kontinente Hohlräume vorhanden wären; denn es müssten sich unterhalb der Ozeane ungemein dichte Stoffe befinden."

Das sind Beobachtungen[1], die kaum einen Zweifel darüber bestehen lassen, dass die grössere Verdichtung der Erdrinde nicht auf

[1] Es darf jedoch nicht mit Stillschweigen übergangen werden, dass diese Beobachtungen nicht jegliches Misstrauen zu beseitigen vermochten. Arago in seiner populären Astronomie (4. Bd., S. 59 der deutschen Ausgabe) kann die Bemerkung nicht unterdrücken, dass den lokalen Anziehungen vielleicht eine zu grosse Bedeutung beigelegt werde, da dieselben sehr oft viel natürlicher blossen Beobachtungsfehlern zuzuschreiben seien. Ferner wurde in neuerer Zeit darauf hingewiesen, dass die Meeresoberfläche keine normale Sphäroidfläche sei, sondern dass dieselbe gegen die Kontinente hin ansteigt. Hierdurch werden die durch die Pendelbeobachtungen erlangten Zahlen vielfach in ein anderes Licht gestellt, ohne dass dieselben jedoch ihre Bedeutung verlieren (cf. unten).

Seite der Kontinente sich befindet, sondern auf Seite der Ozeane, und ebenso wenig kann unseres Erachtens darüber ein Zweifel bestehen, dass diese grössere Verdichtung in der weit stärkeren Abkühlung ihren Grund habe, welche die kalten Meeresströmungen auf ihre Unterlage, auf den Meeresgrund, ausüben.

Erwägungen, wie sie von WEPFER[1] angeregt wurden und wie sie wohl auch sonst sich aufdringen möchten, dass das trockene Land der Abkühlung gegen den kalten Raum mehr (fünfmal mehr) ausgesetzt sei, kommen hier gar nicht in Anwendung. Sie kämen in Anwendung und wären richtig, wenn es sich darum handelte, ob die Oberfläche des Landes oder die Oberfläche des Wassers schneller sich abkühlen, somit bei Untersuchung der Frage des reinen Seeklimas gegenüber dem Kontinentalklima. Hier ist allerdings bekannt, dass das Wasser, d. h. seine Oberfläche sich langsamer abkühlt als das Land. Allein die Frage ist eine ganz andere; die Frage ist, wie sich die Erdrinde unter dem Wasser abkühlt. Es kommt somit gar nicht die Temperatur der Oberfläche des Wassers zur Sprache, sondern die Temperatur der tiefsten Schicht des Wassers, seiner Unterfläche, wenn der Ausdruck gestattet ist. Die Temperaturen der Unterfläche des Wassers im tiefen Ozean sind aber erwiesenermassen von jenen der Oberfläche so stark abweichend, dass ein Schluss, der aus letzteren gezogen wird, notwendig ein unrichtiges Resultat geben muss.

Wenn nun die grössere Abkühlung und Senkung auf Seite der ozeanischen Gebiete der Erdrinde liegt, so muss das Korrelat der Senkung, die Hebung, auf jene Teile der Erdrinde sich erstrecken, welche nicht ozeanisch sind, d. h. trockenes Land sind oder auch nur mit seichtem, wärmerem Wasser bedeckt sind. Die Geographen weisen nun in der That darauf hin, dass die hohen Gebirge der Erde zumeist nahe den Rändern der Meere, besonders der grossen Ozeane liegen und gegen das Meer zu ihren steileren Abhang wenden[2]. Das Hauptgebirge von Nord- und Südamerika umsäumt die eine Seite des Stillen Ozeans; aber auch die asiatische Seite desselben wird durch die Gebirge der Mandschurei bis nach Hinterindien hinab umsäumt. Dem Indischen Ozean legt sich (in einiger Entfernung) gegenüber der Himalaya und das Gebirgsland, das die Ostseite von Afrika erfüllt.

Um den schmaleren Atlantischen Ozean sind die Gebirge weniger

[1] Württ. naturw. Jahreshefte, 1876, S. 168.

[2] cf. PESCHEL: Neue Probleme, 4. Aufl., S. 86.

hervortretend und weniger zusammenhängend. In dem vielgegliederten Europa hält vorzüglich das skandinavische Gebirge die Richtung als Randgebirge des Atlantischen Meeres streng ein, dem auf der anderen Seite das grönländische Gebirge entspricht; erst tiefer unten folgt in Nordamerika das Alleghanygebirge. DANA hat die Anordnung der Gebirge in Nordamerika besonders betont: dem grossen Stillen Ozean gegenüber liegt das hohe Felsengebirge, dem schmaleren Atlantischen Ozean gegenüber das weniger hohe Alleghanygebirge und in der Mitte das tiefe Stromgebiet des Mississippi. Aber auch in der Umgebung des südatlantischen Meeres stellt sich das brasilianische Küstengebirge ein, wie die Gebirge auf der westlichen Seite von Afrika. Der weitere nicht unwichtige Umstand ist noch dabei hervorzuheben, dass, wie die grössten Meerestiefen sich unter den Tropen oder in ihrer Nähe vorfinden, so auch die höchsten Erhebungen der Gebirge.

Ferner weisen die Geographen auf eine Zone von Vulkanen hin, welche ebenfalls die Meere umgürten und den Kontinenten vielfach auf Inseln vorgelagert ist. Es fällt ihnen somit jene Zone zu, welche zwischen den Gebieten der Senkung (Ozeanen) und den Gebieten der Hebung (Kontinenten) zwischen inne liegt. Da wo diese beiden Gebiete sich berühren, darf man wohl mit Recht eine Zone annehmen, deren Boden Zerrungen, Spannungen und Brüchen unterliegt, als deren sichtbarer Ausdruck und Folge die vulkanischen Erscheinungen sich darzustellen scheinen. Wieder ist es das grosse Senkungsgebiet des Stillen Ozeans, welches auch diese Zone zum deutlichsten Ausdruck gelangen lässt; dem asiatischen Gestade legen sich von Kamtschatka an die Vulkanreihen der Kurilen, der japanesischen Vulkane, Philippinen, Molukken, Sundainseln etc. in dicht gedrängtem Kranze vor; dem amerikanischen Gestade entlang ziehen dieselben in langgedehnten Reihen von den Aleuten an und setzen sich dann vielfach in Verbindung mit dem umsäumenden Kettengebirge selbst. Der Indische Ozean partizipiert auf seiner Ostseite an den Vulkanreihen des Stillen Ozeans, weist aber auch auf seiner Nordseite (Indien) und Westseite (Madagaskar) Vulkane auf. In der Umgebung des schmaleren Atlantischen Ozeans sind grosse Lücken vorhanden. Gut besetzt sind nur die tropischen Gegenden auf beiden Seiten desselben; auf der amerikanischen Seite die Antillen und auf der anderen Seite die Kanarischen Inseln, Azoren und Kapverdischen Inseln. Auch bei dem Stillen und Indischen Ozean sind wiederum die Tropen mit den dichtesten Reihen von Vulkanen besetzt.

Die Meerestiefen einerseits und die Gebirge und Vulkanreihen anderseits, stehen unter sich trotz aller Freiheit in einzelnen Partien, in so gutem Zusammenhang, dass die Berechtigung zur Annahme einer gemeinsamen Ursache nicht von der Hand gewiesen werden kann. Anderseits stellt die ungleiche Abkühlung, welcher die Erdrinde in den ozeanischen und nichtozeanischen Gebieten unterliegt, die Forderung, dass die Gebiete der Senkung und Hebung in ihrer gegenseitigen Lage nachgewiesen werden, weil dieselben notwendig zu einem geographischen Ausdruck gekommen sein müssen. Beide in ihrem Ausgangspunkt verschiedenen Wege treffen somit zusammen und sind dadurch geeignet, einer dem anderen zur Stütze zu dienen und sich gegenseitig zu bestätigen.

In hohem Grade interessant ist deshalb eine Berechnung von Dr. KRÜMMEL[1], wonach es „mehr als wahrscheinlich ist, dass zwischen dem Gewicht des Wassers der Meere und der Erdfesten (im Sinne KRÜMMEL's) ein Gleichgewicht besteht". Was KRÜMMEL unter „Erdfesten" versteht gibt er auf S. 106 seiner citierten Schrift an: „Was wir Kontinente heissen, ist ja nur der oberste Teil der gesamten Erdfesten, soweit sie von der Luft bespült sind. Denken wir uns das Meer trocken gelegt, so würden die Erdfesten nach HUMBOLDT's Ausdruck, wie gewaltige Plateaus aus dem Meeresboden aufsteigen. Die unsichtbaren Festländer ruhen also auf mächtigen Sockeln, deren Höhe gleich ist der Mitteltiefe der Meere."

Die Erdfesten in diesem erweiterten Sinn, gegen dessen Berechtigung nichts einzuwenden ist, können nach KRÜMMEL's Rechnung nur 2,43 mal in die Meerestiefen hineingeschüttet werden. KRÜMMEL begründet das durch weitere Ausführung und man ersieht aus diesem Ergebnis alsbald, dass hier nahezu ein Gleichgewicht zwischen der Masse der Gewässer des Meeres und jener der „Erdfesten" obwalten wird, weil das spezifische Gewicht der Mineralien, aus denen die Erdrinde besteht, jedenfalls um 2,5 herum beträgt, was mit der obigen Ziffer (2,43) fast genau zusammenfällt.

Etwas wesentlich anderes ist das Volumen jener Landmassen, welche frei über dem Meeresspiegel sich erheben und von der Luft umspült werden. Nach der Berechnung von KRÜMMEL, der sich hierbei auf die neuesten und, soweit möglich, zuverlässigsten Grundlagen stützt, könnte man das Volumen derselben (das über den

[1] Versuch einer vergleichenden Morphologie der Meeresräume, S. 109.

Spiegel des Meeres frei emporragt) 21,4 mal in die Meeresräume hineinschütten (l. c. S. 106).

Es ist offenbar ein fruchtbarer Gedanke Krümmel's, nicht bloss die Ausdehnung des wirklich sichtbaren festen Landes zu berechnen, sondern auch den Sockel desselben bis zur Mitteltiefe der Meere und das beiderseitige Gewicht der Gewässer des Meeres und der Erdfesten in diesem weiteren Sinne mit einander zu vergleichen. Die allgemeinen Begriffe der Korrelation von Senkung und Hebung leiden, trotz ihrer physikalischen Zulässsigkeit, doch bei der Anwendung auf konkrete Verhältnisse an einer gewissen Vagheit, welche zu überwinden man sich bestreben muss. Der Druck insbesondere setzt nicht bloss eine Volumverminderung sondern ein Mehrgewicht an den betreffenden Stellen voraus, oder mit anderen Worten es ist eine Vermehrung nicht bloss des spezifischen Gewichts erforderlich, die durch die Volumverminderung bewirkt wird, sondern eine Vermehrung des reellen Gewichts der drückenden Masse. Die Krümmel'sche Erörterung ist nun ganz dazu geeignet, darüber grössere Klarheit zu verbreiten. In jenen Gegenden, welche durch die stärkste Abkühlung eine stärkere Volumverminderung erlangt haben, legt sich das Meerwasser in entsprechend grössere Tiefe hinein; sein Mehrgewicht addiert sich zu dem schon zuvor vorhandenen Gewicht der Mineralien der Erdrinde und ruft so einen Druck hervor, der auf die Unterlage eine entsprechende Wirkung ausübt. Da die Unterlage nicht unnachgiebig ist, so werden die Teile derselben diesem Druck auszuweichen suchen nach solchen Gegenden hin, welche keinen oder einen geringeren Druck erleiden und rufen dort Hebungen hervor, welche dem Druck proportional sind. Dass nun die Massengewichte der „Erdfesten“ und der Meeresgewässer sich ungefähr das Gleichgewicht halten, ist jedenfalls ein überraschendes Verhältnis, das geeignet ist auf die gegenseitigen Beziehungen zwischen Meer und Land, Senkung und Hebung und auf die Ursache der Gebirgserhebung selbst, ein neues Licht zu werfen.

Damit ist eine andere Annahme, dass nämlich die auf dem Grunde des Meeres sich niederschlagenden Sedimente den Druck veranlassen, nicht bloss wesentlich verbessert, sondern als überflüssig beseitigt. Die Sedimente, die auf dem Grunde des Meeres sich niederlegen, entziehen sich selbstverständlich jeder genaueren Schätzung und Berechnung, sowohl was das Volum als was das Gewicht derselben anbelangt; die Annahme, dass durch sie ein Druck

auf ihre Unterlage ausgeübt werden könne, ist keineswegs absurd, aber es fehlt ihr jede nähere Bestimmtheit. Dagegen ist der Druck, der durch die Gewässer des Meeres veranlasst wird, der Berechnung zugänglich und stellt sich als ein so gewaltiger heraus, dass die Herbeiziehung anderer mitwirkenden Ursachen überflüssig wird.

Auf Grund der Untersuchungen von FISCHER wird zwar unbeanstandet zuzugeben sein, dass durch die Attraktion der Kontinente Abweichungen in der Regelmässigkeit der Gestalt des Meeresspiegels hervorgerufen werden. Von der Bedeutung dieses Einflusses wird man sich am besten eine Vorstellung machen können, wenn man annimmt, dass diese Attraktion aufhören würde. Dann würden, wie SUESS bemerkt, die über die Gewässer hervorragenden Kontinente an Höhe und Zusammenhang gewinnen, aber zugleich das Meer an Tiefe zunehmen. Auf den von uns hervorgehobenen Gesichtspunkt haben jedoch diese Verhältnisse keine unmittelbare Anwendung, weil es sich für uns um die Gesamtheit des Massengewichts handelt, wobei einer grösseren oder kleineren räumlichen Verschiebung der Grenzen der Kontinente einerseits und der Meere anderseits keine Bedeutung zukommt.

Doch können die Erörterungen von PFAFF[1] nicht mit Stillschweigen übergangen werden. PFAFF macht auf die unter sich selbst stark und unerklärt abweichenden Resultate der Pendelbeobachtungen an verschiedenen Orten und auch auf die damit nicht harmonierenden Barometerstände aufmerksam und zieht daraus mit Recht den Schluss, dass die Attraktion durch die Kontinente nicht die einzige Ursache der Erscheinung sein könne und betont speziell, dass nicht bloss die über den Meeresspiegel hervorragenden Massen eine Anziehung ausüben, sondern auch die unter dem Meeresspiegel befindlichen und zwar desto kräftiger, je dichter diese letzteren sind. Das würde, wie man sieht, mit unserer oben entwickelten Auffassung gut harmonieren.

Man wird sich aber ferner nicht verhehlen dürfen, dass bei Abschätzung der Volumina und des Gewichts der Meere und Kontinente beträchtliche Schwankungen sich ergeben können; denn weder die einen noch die anderen konnten mit der wünschenswerten Genauigkeit untersucht werden. Es könnte sich somit leicht ergeben, dass das Gewicht der Erdfesten zu anderen Zeiten grösser oder kleiner geschätzt würde als jenes der Meere oder umgekehrt. Doch würde

[1] Zur Frage der Veränderungen des Meeresspiegels durch den Einfluss des Landes, 1884.

dies unsere Auffassung weniger stören, als man auf den ersten Blick glauben könnte. Wenn nämlich durch die Abkühlung eine Spalten- und Schollenbildung der Erdrinde erfolgt, wie nicht beanstandet werden wird, so haben diese Schollen eine beschränkte Beweglichkeit in vertikalem Sinne. Durch die Spaltenbildung wird das Gewölbe der festen Erdrinde nicht zerstört, aber doch einigermassen gelockert, so dass die eine Scholle eine etwas tiefere, die andere eine etwas höhere Lage einzunehmen vermag, als ihr ursprünglich zukommt. Die niedergehende Scholle übt dann durch ihre eigene Bewegung schon einen Druck auf ihre Unterlage aus, der noch vermehrt wird durch die Auflagerung der zuströmenden Meeresgewässer. Mit anderen Worten: der Druck, den eine im Absinken begriffene Scholle auf ihre Unterlage ausübt, kann zusammengesetzt sein aus ihrem eigenen teilweisen Gewicht und aus dem Gewicht der überlagernden Meeresgewässer, kann somit beträchtlich stärker sein, als das entsprechende Meeresgewicht für sich allein ausmachen würde, deshalb auch eine stärkere Wirkung hervorrufen. Dabei kommt immer nur ein Teil des Gewichts der Scholle in betracht; denn von einem freien ungehinderten Absinken kann nicht die Rede sein, sondern nur von einem teilweisen Verrücken der Lage nach unten hin.

Es kann somit allerdings der Fall eintreten, dass kein Gleichgewicht zwischen Meer und Erdfesten besteht; dessenungeachtet aber kann die Korrelation von Senkung und Hebung bestehen, d. h. ungleicher Druck nach unten und Ausgleichung desselben durch Ausweichung und Bewegung nach oben.

Immerhin aber wäre dieses Verhältnis des Gleichgewichts, wenn es sich aufrecht erhalten lässt, das einfachste und sprechendste Zeugnis dafür, dass zwischen Senkung und Hebung eine Verbindung besteht, deren Deutung sich von selbst nahe legt und die nicht missverstanden werden kann.

Wenn man nun Volumverminderungen und Senkungen der Erdrinde infolge der (ungleichen) Abkühlung zugibt, wenn man zugibt dass die feste Erdrinde ungleichen Druck erleidet und ihrerseits wieder auf ihre Unterlage ausübt, so möchten sich die weiteren Folgen unbeanstandet von selbst ergeben. Wenn man wirkliche Senkungen zugesteht, so wird man auch wirkliche vertikale Hebungen nicht ablehnen können. Die Kraft zu letzteren ist vorhanden und es müssten die hemmenden Ursachen bezeichnet werden, wenn die Äusserung dieser Kraft nicht sollte ins Dasein getreten

sein. Dass im Gefolge der Senkungen und Hebungen sich dann auch horizontale Bewegungen einstellen können, bedarf keiner weiteren Darlegung; aber die notwendige Voraussetzung der letzteren sind die erstgenannten vertikalen Bewegungen. Die Überwindung der unvermeidlichen Friktion bei der Bewegung der Erdschollen wird freilich noch überdies ganz ausserordentlich grosse Kräfte für sich in Anspruch nehmen. Allein der ununterbrochen durch Jahrtausende hindurch wirkende Druck, der von den Senkungsgebieten ausgeübt wird, vermag durch seine Dauer Wirkungen zu erzielen, die ohne diese allerdings unmöglich wären.

Scheinbare Unregelmässigkeiten in der Verteilung von Land und Meer (Senkung und Hebung) können nicht irre leiten. Wenn der tiefe Ozean durch seine kalten Grundwasserströmungen in der Hauptsache sich als Gebiet der Senkung qualifiziert, so ist damit nicht ausgeschlossen, dass bei kleineren Partien innerhalb desselben auch Hebungen sich einstellen. Es ist bekannt, dass Neuseeland auf der einen Seite sich hebt, auf der anderen sinkt und neben vielen sinkenden Laguneninseln treten auch andere Punkte mitten im Ozean auf, die sich heben. Es ist ganz im Einklange mit der Ursache der Senkung und Hebung, dass der Haupteffekt der Senkung dem Meere selbst zufällt, der Haupteffekt der Hebung aber auf die Peripherie des Meeres, an den Rand der Kontinente hinausgeschoben wird; dessenungeachtet kann sich da und dort auch innerhalb des Senkungsgebietes selbst eine Hebung geltend machen. Die kalten Strömungen auf dem Grunde des Meeres halten sicher nicht zu allen Zeiten und an allen Orten genau die gleiche Richtung ein, sondern können, innerhalb nicht unbedeutender Grenzen, hin und her schwanken, so dass eine Abwechselung zwischen Senkungs- und Hebungsfeldern stattfinden kann und eine Wiederholung der Schwankungen zu verschiedenen Zeiten selbst in entgegengesetztem Sinn. Die zahlreichen Schwankungen, die von der beobachtenden Geologie während des Verlaufs der geologischen Entwickelung nachgewiesen sind, werden wohl in der That auf keine anderen Ursachen zurückgeführt werden können. Ohne den Gegenstand weiter zu verfolgen, möchte es erwünscht sein, für diese Erscheinung ausser jener Umsetzung der Ozeane von der einen Halbkugel auf die andere, wie sie von Prof. Dr. Schmick befürwortet wird, noch eine andere Ursache zur Disposition zu haben.

Man möchte sogar versucht sein, ein solches erst in einer jüngeren Erdperiode verlassenes Meeresstromgebiet, von dem sich nur noch

Reste erhalten haben, zu vermuten. Das Mittelmeer besonders trägt mehrere solcher Kennzeichen an sich; es ist ausgezeichnet durch ansehnliche Gebirge, die dasselbe umkränzen und ihren Steilrand ihm zukehren (spanische Gebirge, Alpen, Atlas) und weist an seinen Rändern auch eine nicht unbedeutende Zahl von Vulkanen auf. An dasselbe schliesst sich das Schwarze Meer, das in der Richtung gegen das Kaspische Meer durch das Hochgebirge des Kaukasus noch eine besondere Bedeutung erhält. Auch die fast unmittelbare Nähe des Roten Meeres, des Ausläufers des Indischen Ozeans muss wohl beachtet werden. Von Norden her aber erstreckt sich durch ein weites Tiefland hindurch das Uralgebirge nach Süden weit herab, so dass man dem Eindruck sich hingeben möchte, als ob hier ein alter verlassener Stromweg des Meeres von Pol zu Pol vorhanden sei, der indessen unterbrochen wurde, aber noch in seinen Überresten, nicht bloss in den Meeren, sondern auch in den begleitenden Gebirgen und Vulkanen sich kundgibt.

Merkwürdig ist jedenfalls das Erscheinen der „nordischen Gäste“ im Mittelmeer, die in der IV. Phase desselben (nach Suess, Antlitz der Erde, I, S. 432) unerwartet genug erscheinen. Diese IV. Phase fällt in die oberpliocäne Periode. Interessant sind auch frühere Mitteilungen von Suess, wenn dieselben auch nicht in allweg zur positiven Bestätigung unserer Annahme dienen. Im LIV. Bd. der Sitzungsber. der math.-naturw. Klasse, 1866, S. 244 äussert er sich folgendermassen: „Murchison, Verneuil und Keyserling haben eine ebenso lebendige als lehrreiche Schilderung jenes grossen Binnensees der Vorzeit gegeben, welchen sie als Aralo-kaspischen bezeichnen. Nach den Angaben von Reisenden und mitgebrachten Handstücken zweifelten sie nicht an seiner Erstreckung bis Chiwa und an den Aral; die niedrigen Steppen gegen Osten liessen sie aber vermuten, dass erst die westlichen Ausläufer des Hindu-Kusch und die Berge der chinesischen Tartarei, das Ufer desselben gebildet hätten. Früher schon, aber nicht weniger entschieden, hatte Humboldt die Ansicht ausgesprochen, dass vor der Zeit, welche wir die historische nennen, in einer Epoche, welche den letzten Erdrevolutionen sehr nahe liegt, der Aralsee ganz inbegriffen war in dem Kaspischen Meere und dass damals die grosse Depression Asiens ein weites Binnenmeer gebildet haben mag, welches einerseits mit dem Schwarzen Meere in Verbindung stand, anderseits aber, durch mehr oder minder breite Furchen, mit dem Eismeer und den Seen Telegoul, Talas und Balkasch. Dass Murchison und seine Begleiter es unterliessen, von

einer solchen Kommunikation des Binnenmeers mit der offenen See Nordasiens zu sprechen, erklärt sich daraus, dass ihnen in diesen östlichen Gegenden nur jene lakustren, durch den Mangel jeder rein marinen Form in hohem Grade ausgezeichnete jüngere Formation bekannt war, welche sie eben die aralo-kaspische nannten. Um so gerechtfertigter aber ist die Annahme einer solchen offenen Kommunikation mit nordischen Gewässern für die sarmatische Stufe, welche nach neueren Forschungen, unter den lakusteren Bildungen bis an den Aralsee reicht. Man muss sich mit um so grösserer Bestimmtheit für eine solche Verbindung mit dem nordasiatischen Meere aussprechen, als eine Kommunikation mit dem Mittelmeer (wie SUESS hinzufügt) nicht wahrscheinlich ist. Die sarmatische Fauna steht im Osten der Mittelmeerfauna gerade ebenso fremd gegenüber, wie bei Wien der Fauna des Leithakalks. Ihre Heimat ist offenbar eine andere; sie ist jenseits des Aral, im nördlichen Asien zu suchen."

Doch ist hier zu bemerken, dass SUESS in seinem neuesten Werke: „Das Antlitz der Erde" I, S. 416 auf Grund von neueren Forschungen von einer direkten Verbindung mit den nordischen Meeren zur sarmatischen Zeit zurückgekommen ist, aber die Verbindung mit dem Mittelmeere zugibt, nur dass der Salzgehalt in den Gewässern der sarmatisshen Meeresteile beträchtlich geringer war, woraus die Verschiedenheit in der Fauna, in den Muscheltieren besonders, erklärt wird. Es scheinen hier somit die Ansichten noch manchen Schwankungen zu unterliegen.

Die Geologie wird wohl ihrerseits in ihrem weiteren Fortschreiten derartige Probleme ins Auge fassen müssen, wie die Geographie, nach dem Vorgange PESCHEL's und Anderer, bereits gethan hat, wenn auch ein abschliessendes Urteil noch ferne liegt.

Mit der ADHÉMAR'schen Theorie besteht bei dem Kapitel von den Hebungen keine Konkurrenz, da dieselbe keinerlei Gesichtspunkte eröffnet, welche auf diesen Gegenstand irgend ein Licht zu werfen geeignet wären.

Viertes Kapitel.

Besprechung der gangbarsten Vorstellungen über die gebirgsbildenden Kräfte.

In den zwei vorangehenden Kapiteln wurde nachzuweisen gesucht, dass eine Kraft, welche Hebungen im vertikalen Sinne hervorzurufen vermag, keineswegs in den Bereich der Unmöglichkeit gehört, dass einer ungleichen Abkühlung ein ungleicher Druck und damit partielle Hebungen entsprechen. Die stärkste Abkühlung der Erdrinde findet nach Massgabe der Tiefseeforschungen unzweifelhaft auf dem Grunde der Ozeane statt und das Bestreben, das so gestörte Gleichgewicht durch korrespondierende Hebungen wieder herzustellen, ist nicht bloss physikalisch nicht zu beanstanden, sondern steht auch im Einklang mit einer Reihe von anderweitigen Erscheinungen. Es liegt somit auch keine Nötigung vor, die Möglichkeit und Wirklichkeit von Hebungen (im vertikalen Sinn) gänzlich in Abrede zu ziehen, weil keine Kraft bekannt sei, welche im stande wäre, Bergmassen emporzuheben und im Gegensatze zur Schwerkraft dauernd in dieser Stellung festzuhalten und daraus die relative Berechtigung abzuleiten, die Unebenheiten der Erdoberfläche sämtlich prinzipiell nur auf Senkungen zurückzuführen. Die Schwierigkeiten, auf die man stosst, wenn man von der ungleichen Abkühlung und dem ungleichen Druck absieht, eine hebende Kraft und das Vorhandensein von Hebungen in Abrede zieht, und nur unter dem Gesichtspunkte der Senkungen alle die betreffenden Erscheinungen der Unebenheiten erklären will, sind auch in der That bedeutend. Wenn man auch bereitwilligst zugesteht, dass alle Gedanken, die man sich in solchen Sachen gegenwärtig macht, das Stadium von theoretischen Vorstellungen nicht überschreiten, so ist ein Fortschritt doch nur dann angezeigt, wenn durch diese Vorstellungen irgend ein erklecklicherer Beitrag zur Aufhellung der zu erklärenden Probleme, wie sie die Natur selbst darbietet, geliefert wird, ohne dass man in einen Konflikt mit den bestehenden physikalischen Gesetzen kommt.

Wenn man die Senkungen allein zur Erklärung der Unebenheiten herbeizieht und den Sitz der Abkühlung, Volumverminderung und Senkung in das feste Land selbst verlegt, so müsste der Umfang des festen Landes während der gesamten geologischen Ent-

wickelung der Erdoberfläche immer mehr hinschwinden und vom Ozean bedeckt werden.

Die „terripetale Tendenz“ (Bronn) in der Entwickelung der Erdoberfläche ist aber doch so unverkennbar ein sicheres Ergebnis der beobachtenden Paläontologie, dass es äusserst gewagt erscheint, auf eine Vorstellung sich einzulassen, welche damit nicht im Einklange steht.

Aber auch in dem Falle, wenn man den Hauptsitz der Volumverminderung nicht in das über den Meeresspiegel hervorragende feste Land, sondern in den Meeresgrund verlegt, also die Unebenheiten durch Senkung des Meeresgrundes erklärt, dabei aber eine stetig nachfolgende partielle Hebung im vertikalen Sinn ausschliesst, lässt sich die Tektonik der Festländer in ihren Hauptzügen nicht erklären. Durch die Vertiefung der Meere kann wohl das Land emportauchen und nach und nach einen Zuwachs erhalten. Aber bei dieser Annahme müsste die Mitte, der Kern des im Werden begriffenen Kontinents überall aus den ältesten Schichten bestehen und die höchste Lage einnehmen. Die später erst, durch Vertiefung des Meeresgrundes, von der Meeresbedeckung frei gewordenen Schichten, die jüngeren Formationen, würden sich in ungefähr konzentrischen Kurven, aber in stets abnehmender Höhe an den alten höheren Kern anschliessen müssen. In Wirklichkeit bieten aber die Kontinente ein anderes Bild dar. Die Ränder derselben sind vielfach am meisten erhöht, während die Mitte derselben eine oft abflusslose Depression darstellt; und die Schichten dieser zentralen kontinentalen Depressionen sind keineswegs sehr alte, sondern sehr junge Sedimente.

Zur Erklärung der erhöhten Ränder der Kontinente wird nun freilich der horizontale Seitenschub herbeigezogen, den die sinkenden Schollen der ozeanischen Gebiete auf die stehenbleibenden gegenüberliegenden Ränder ausüben sollen (Dana).

Allein man fragt doch mit Recht: soll der sinkenden Scholle ein so starker Einfluss auf die stehenbleibenden Ränder zugestanden werden können, während sie selbst von Pressungen frei bleibt? Wenn die absinkende Scholle aus viel härterem, widerstandsfähigerem Material bestehen würde als die Ränder, so liesse sich ein so einseitiges Verhalten allenfalls noch einsehen. Wenn man einen stählernen Keil in eine weiche Holzmasse eintreibt, so mag der Keil unverändert durchdringen, während die weiche, spaltbare Holzmasse die Folgen des Eindringens des Keils allein zu tragen hat. Die

Schichten der Erdrinde aber haben zwar wohl auch unter sich selbst verschiedene Härtegrade, aber nicht in der Weise, dass die sinkenden Schollen aus weitaus härteren Gesteinen bestehen würden als die stehenbleibenden Ränder; es kann also eine solche auffallend einseitige Wirkung nicht hervorgebracht werden. Im Gegenteil liesse sich mit weit mehr Grund annehmen, dass die sinkende Scholle, welche in die Klemme gerät, die Spuren der erlittenen Pressung stärker an sich selbst erfahren sollte, als die Ränder. Wenn man einen eisernen Keil in eine Eisenmasse von gleicher Härte und gleicher Temperatur einlassen will, so wird der Keil die stärkeren Spuren des Konflikts wahrnehmen lassen. Es müsste somit seltsam zugehen, wenn eine sinkende Scholle durch ihre seitliche Pressung an den stehenbleibenden Rändern Gebirge aufstauen sollte, während sie selbst unbeeinflusst oder fast unbeeinflusst in die Tiefe sinken soll. Die Beobachtungen des Meeresgrundes ergeben ja bekanntlich, dass auf dem Meeresgrund von steilen Faltungen keine Rede ist.

Der Vorstellung vom lateralen Seitendruck geht regelmässig eine andere Vorstellung zur Seite, vom Nachsinken der Rinde auf den Kern, der durch Abkühlung zu klein geworden sein soll. Aber auch hier stösst man auf ansehnliche Schwierigkeiten.

Den präzisesten Ausdruck findet diese Vorstellung, wenn man sie ungefähr so formuliert: die obere äussere Rinde der Erdoberfläche ist in der Abkühlung und Volumverminderung so weit vorgeschritten, dass hier schon ein Stillstand eingetreten ist; die tieferen inneren Teile aber (Kern) sind noch im Besitz einer hohen eigenen Wärme. Diese verliert nun der Kern, nachdem auf der Oberfläche schon Stillstand eingetreten ist, und deshalb eilt der Erdkern an Volumverminderung der oberen (krystallinischen) Erdkruste voran und letztere sinkt, ihrer Unterlage beraubt, in Schollen auf den zu klein gewordenen Erdkern nieder und veranlasst dadurch eine Faltung an den Rändern jener Schollen, welche nicht oder weniger niedersinken. Allein man muss hier notwendig vor allem den Unterschied im Auge behalten, ob der Ausdehnungskoeffizient (resp. Zusammenziehungskoeffizient) bei den in den Zustand der Abkühlung übergehenden Gesteinsmassen der Erdrinde einerseits und des Kerns anderseits gleich ist oder ungleich.

1) Nimmt man an, dass er gleich sei, so darf man nicht übersehen, dass die mehr nach aussen gelegenen Teile der Erdrinde, soweit sie krystallinisch sind (und von den Sedimenten ist hier abzusehen), dieser Prozess der Abkühlung und Volumveränderung ihrer-

seits schon zuvor durchgemacht haben und dabei die ganze Summe aller jener Eigenschaften schon erworben haben, die mit der Abkühlung (Volumverminderung) verbunden sind. Die tiefer liegenden Teile der krystallinischen Erdkugel oder des Erdinnern sind aber erst im Begriff, diese Eigenschaften der höheren äusseren Erdkruste allmählich zu erwerben und können somit nicht vorauseilend, sprungweise, eine höhere Potenz dieser Eigenschaften annehmen. Die oberen äusseren Teile sind, was den Besitz der Eigenschaften des Abkühlungszustandes, dieses eigentümlichen thermischen Zustandes betrifft, insbesondere auch was die Volumverminderung anbelangt, immer und in jedem Stadium schon voraus, weil die Abkühlung von aussen nach innen eindringt. Es kann deshalb auch keine Kluft entstehen zwischen dem Erdinnern und der äusseren Erdkruste, die durch Nachsinken der letztern auszufüllen wäre.

Um durch ein Beispiel den Sachverhalt näher zu erläutern, mag man sich vorstellen, dass irgendwo auf der Oberfläche der Erde eine jährliche Durchschnittstemperatur von 10⁰ bestehe, wobei ein Stillstand eingetreten ist, da diese Temperatur wesentlich und fast ausschliesslich durch die Bescheinung der Sonne aufrecht erhalten wird. Tiefer in der Erde aber befinden sich Zonen, deren Wärme auf 20⁰, 30⁰, 40⁰, 50⁰ etc. ansteigt. Nun kann allerdings die Abkühlung im Laufe der Jahrhunderte oder Jahrtausende so weit vorschreiten, dass die Zone, welche zuvor 50⁰ hatte, nur noch 20⁰ besitzt, während die äusserste Rinde bei 10⁰ verbleibt, wobei die Erwärmung durch die Sonne als konstant betrachtet ist. Wenn aber nunmehr auch jene Zone, die zuvor 50⁰ hatte, jetzt nur noch 20⁰ aufweist, somit 30⁰ Wärme verloren hat, so entsteht dadurch doch keine Kluft, denn auch die anderen Zonen haben sich nicht auf ihrem bisherigen Stand erhalten, sondern haben sich entsprechend mitabgekühlt und ihnen gegenüber ist immer noch die Zone, die jetzt 20⁰ besitzt, diejenige, die am wenigsten abgekühlt ist. Ebenso entsteht keine Kluft weiter nach innen von jener Zone, die ursprünglich 50⁰ hatte; denn auch diese noch tieferen Zonen kühlten sich ab, nur um einen Betrag weniger, in allmählichen Übergang. Es wäre ganz irrtümlich, wenn man annehmen würde, dass nur die Zone von 50⁰ sich abgekühlt hätte (auf 20⁰), dass aber die nächstfolgenden Zonen von 40⁰ und 30⁰ etc. auf ihrem alten Stand geblieben seien. Sie haben sich alle auch abgekühlt und alle in dem Grade, dass ihr Abkühlungszustand noch weiter vorangeschritten ist als die Ab-

kühlung der tieferen Zone (mit 50°), haben somit auch die Eigenschaften der Abkühlung in höherem Grade erworben, als jene Zone von ehedem 50°.

Es kommt hier offenbar nicht darauf an, wie viele Grade CELSIUS oder RÉAUMUR bei der Abkühlung einer Gesteinslage abgegangen sind, als vielmehr darauf, wie viele Grade nach der Abkühlung und trotz der Abkühlung noch vorhanden sind. Durch die noch vorhandene Wärme wird der thatsächliche thermische Zustand den anderen Schichten gegenüber bestimmt und bedingt. Da aber bei einer erkaltenden Kugel die innersten Lagen jederzeit die relativ wärmeren sind, so ist der thermische Zustand derselben auch jederzeit weiter von den Zuständen der nach aussen liegenden, mehr abgekühlten Gesteine entfernt; d. h. die inneren sind, weil wärmer, so auch voluminöser. Man kann deshalb von einem Nachsinken auf den zu klein werdenden Erdkern nicht reden.

Wollte man aber die Ziffern anders wählen und als Paradigma aufstellen (wie das wirklich geschehen ist), dass die Oberfläche 10°, die inneren Erdlagen aber 1500° Wärme besitzen und dass bei fortschreitender Erkaltung bis auf 0° die Oberfläche somit nur 10° verliere, das Erdinnere aber 1500°, so ist dagegen zweierlei zu erinnern. Erstens ist die Annahme von einem Stillstand der Erkaltung bei 0° eine ganz willkürliche. Wenn in Wirklichkeit die Erkaltung einer Zone im Erdinnern von 1500° auf 0° stattfindet, so bleibt die Erdoberfläche keineswegs auf 0° stehen, sondern sie nähert sich in dieser sehr langen Zeit der Temperatur des Weltraums und sinkt bedeutend unter 0° hinab, eilt somit den inneren Erdlagen in der Abkühlung voraus, da letztere als nur auf 0° abgekühlt, angenommen wird.

Die Unstatthaftigkeit einer solchen Annahme geht aber deutlicher noch aus der Erwägung hervor, dass, wenn dieser Fall wirklich eintreten könnte, was entschieden abzulehnen ist, dass dann, nach der aufgestellten Hypothese, die inneren Lagen der Erde die Abkühlungseigenschaften überhaupt sich in 150fach höherem Betrage erworben haben müssten, als die oberen Lagen der Erde, trotzdem, dass dieselben nur auf 0°, genau ganz so, wie die Gesteine der Oberfläche abgekühlt sind. Das ist ein Ding der Unmöglichkeit. Ein Gestein von 0° hat die gleichen Eigenschaften des thermischen Zustandes, sei es nun, dass es an der Oberfläche der Erde oder tief in ihrem Innern sich befinde, immer vorausgesetzt, dass sowohl die äusseren als die inneren Lagen den gleichen Prozess

sowohl der Erhitzung als Abkühlung ursprünglich durchgemacht haben.

Das Gleichnis von dem Zustande eines ausgeblasenen Hochofens ist deshalb ganz unzutreffend. Hier werden ja nur ausschliesslich die inneren und innersten Lagen des Gemäuers sehr grossen Hitzegraden ausgesetzt, während die weiter und ganz nach aussen liegenden in keinem Stadium erhitzt, kaum etwas stärker erwärmt werden. Dass nun bei dem Abbruch eines ausgeblasenen Hochofens nur die inneren und innersten Lagen augenfällige Spuren der Erhitzung und nachfolgenden Abkühlung an sich tragen, während die äussersten Lagen davon keine Spur zeigen, ist ganz selbstverständlich, findet aber auf die Verhältnisse der Erdkugel keine Anwendung. Wenn man sich auf den Standpunkt der bekannten Laplace'schen Hypothese stellt, so muss man das Stadium der Glutflüssigkeit der Erde sich so denken, dass die gesamte Kugel in ihrem ganzen Umfang, nicht bloss in ihrem innersten Raum, in diesem Zustand sich befand und dann erst die Abkühlung (Krustenbildung) von aussen nach innen erfolgte. Hier sind somit ganz andere Verhältnisse obwaltend; der Erwärmungs- und Abkühlungsprozess eines Hochofens ist ein ganz anderer, als der der Erdkugel, wenn man dieselbe bis auf ihre ursprüngliche Beschaffenheit zurück verfolgen will. Dabei ist ferner immer zu beachten, dass die Abkühlung nur durch die ganze Rinde hindurch von aussen nach innen allmählich sich vollzieht, dass die Wärme nicht etwa in das Innerste der Erde selbst hinein verschwinden könnte oder irgend einen anderen Ausweg finden könnte, der nicht durch die Rinde hindurch führt. Es kann somit nach all dem von einem Nachsinken der Rinde auf den zu klein gewordenen, in der Abkühlung vorausgeeilten Erdkern nicht die Rede sein und Pfaff wird ganz im Recht sein, wenn er letztere Ansicht geradezu als physikalisch unmöglich bezeichnet (cf. Mechanismus der Gebirgsbildung S. 56 u. 105).

Der Gesamtumfang und der Radius der Erdkugel muss sich freilich durch Abkühlung vermindern, aber es entsteht keine Kluft zwischen der Rinde und dem Kern; weil die innere Partie die wärmere ist, so hat sie ein grösseres Volumen und bleibt in stetem Kontakt mit der weiter nach aussen liegenden; sie wird wohl allmählich dichter, wie die ganze Rinde, aber sie verliert dadurch die Fühlung nicht mit den höher liegenden Partien.

2) Anders ist es, wenn man annimmt und zugibt, dass die zur Erstarrung durch Abkühlung kommenden Massen nicht homogen

unter sich sind und deshalb verschiedene Ausdehnungskoeffizienten besitzen in der Weise, dass der stärkere Ausdehnungskoeffizient den weiter nach innen liegenden Teilen eigentümlich ist. In diesem Fall können sich Klüfte, dickschalige Absonderungen der äusseren und inneren Teile bilden; aber auch in diesem Fall erst dann und nur dann, wenn die Temperatur der inneren Zone soweit in der Abkühlung vorangeschritten ist, dass der Erstarrungspunkt (Schmelzpunkt) desselben erreicht ist. Der Koeffizient macht sich erst geltend, wenn die Erstarrung selbst einzutreten anfängt oder schon eingetreten ist.

Die Erdkugel hat ein spezifisches Gewicht von 5,56, die krystallinischen Gesteine der Erdrinde nur von ca. 2,7. Daraus hat man mit Recht geschlossen, dass das Innere der Erde aus schwereren Massen, als die Silikate sind, bestehen müsse, besonders dass das Eisen und andere schwere Metalle hier stark vertreten sein müssen. Diese schweren Metalle haben aber, wie man nicht wird beanstanden dürfen, einen stärkeren Ausdehnungskoeffizienten, so dass hier eine Kluft sich bilden kann, aber nur dann, wenn die Reihe der Erstarrung an diese Zonen gekommen ist. Dieselben haben einen weniger hohen Schmelzpunkt als die Silikate und die Erstarrung wird deshalb bei ihnen erst eintreten können, wenn die Temperatur ihrer Zone, welche tiefer in der Kugel liegt (wegen ihres höheren spezifischen Gewichts), so weit erniedrigt ist, dass sie überhaupt erstarren können. So lange aber die Temperatur in ihrer Zone überhaupt noch zu hoch ist, so dass sie nicht erstarren können, so kann sich auch ihr an sich stärkerer Erstarrungskoeffizient nicht geltend machen.

Der letztere Fall ist aber in der That zutreffend. Die Trachyte, Basalte und Laven sind, wenn auch ihre chemische Zusammensetzung schwankend ist, dennoch in der Hauptsache Silikate. Die Wärme dieser sogenannten Silikat-Zone ist so gross, dass sie selbst noch im geschmolzenen Zustande ausgeworfen wurden. Die noch tiefer liegende vermutete Eisenzone muss deshalb, weil sie noch tiefer liegt, eine noch höhere Temperatur haben und kann noch nicht in den Zustand der Erstarrung übergegangen sein, zumal da auch ihr Schmelzpunkt zugleich niedriger ist als jener der Silikate. Eine Kluftbildung zwischen Kern (Eisen) und Rinde (Silikate) kann deshalb, wenigstens bisher, noch nicht stattgefunden haben. Auf eine etwaige Veränderung des Schmelz- und Erstarrungspunktes durch den Druck kann hier kein weiterer Wert gelegt werden, da auch

die Silikate ihrerseits selbst schon einem beträchtlichen Druck unterliegen und die Bedingungen, die man für das Eisen etwa in Anwendung bringen möchte, auch für die Silikate schon zu berücksichtigen wären. Wenn man aber die Möglichkeit eines Nachsinkens ungeachtet dieser und anderer Beanstandungen sollte aufrecht erhalten wollen, so ist doch nicht einzusehen, wie die niedersinkende Scholle einen so gewaltigen Druck auf die stehenbleibenden Ränder sollte ausüben können, während sie selbst von den Anzeichen der Pressung frei bleibt. Dieser Gesichtspunkt wurde aber schon oben erörtert.

Auf die populäre Vergleichung mit einer sich runzelnden Orange ist wohl am wenigsten ein Wert zu legen. Es ist hier das gleiche Verhältnis wie bei dem Gleichnisse vom Hochofen, das oben schon beleuchtet wurde: die hier wirkenden Ursachen sind ganz verschiedene, wenn auch die äusserliche Erscheinung einige Ähnlichkeit darbietet. Die Orange runzelt sich wegen Substanzverlustes, nicht wegen Temperaturabnahme oder Änderung des Ausdehnungskoeffizienten. Ein Substanzverlust des Erdinnern kommt allerdings auch vor durch die Auswurfsmassen der Vulkane. Aber es ist anerkannt, dass durch diesen relativ kleinen Verlust die gewaltigen Faltungen, wie sie in den Kettengebirgen vorliegen, nicht verursacht sein können. Und wie dieser geringe Verlust an Masse durchaus nicht zureicht, um die Runzelung zu erklären, so ist auch der mit dem Verlust an Masse proportionale Wärmeverlust ebenfalls viel zu gering, um als Erklärungsgrund herbeigezogen werden zu können. Der Wärmeverlust durch warme Quellen sodann ist aus dem Grunde nicht zu beachten, weil dieselben schon nach ihrem Temperaturgrad offenbar nur aus ganz mässigen Tiefen der festen Erdrinde selbst stammen können und deshalb mit dem Erdkern, in der strengeren Bedeutung des Wortes, nicht in Verbindung gebracht werden können. Wichtiger ist für die säkulare Abkühlung des Erdballs jene starke Wärmeentziehung, welche durch die kalten Gewässer der Ozeane auf dem Grunde derselben ununterbrochen stattfinden muss. In einem früheren Kapitel wurde darauf schon gebührendes Gewicht gelegt und auch Woeikof macht darauf in seinem neuesten Werk (Klimate der Erde I, S. 146) aufmerksam. Aber es bedarf keiner weiteren Auseinandersetzung, dass diese Wärmeabforderung von aussen nach innen durch die ganze Rinde hindurch wirkt und dass somit von einem Vorauseilen des Abkühlungszustandes der inneren Lagen gegenüber den äusseren keine Rede sein kann.

Aus diesen unumgänglich notwendigen kritischen Bemerkungen möchte immerhin soviel hervorgehen, dass durch die bisherigen gangbarsten Vorstellungen jene Erscheinungen, welche erklärt werden sollen, weder schon in so befriedigender Weise erklärt sind, noch auch sich mit den physikalischen Grundsätzen in so guter Übereinstimmung befinden, dass anderweitige Vorstellungen schon zum voraus als ganz überflüssig abgewiesen werden könnten und dürften. Die Aufstellung anderweitiger Gesichtspunkte wird berechtigt sein, wenn und sofern dieselben mit den physikalischen Gesetzen im Einklang sich befinden und dazu geeignet sind, die zu erklärenden Erscheinungen in irgend mehr befriedigender Weise zu erklären.

Wir fassen die Hauptzüge unseres Standpunktes nochmals kurz zusammen:

1) Die Abkühlung der Erdoberfläche ist nicht überall gleichmässig, sondern ungleich, deshalb auch die Volumenverminderung der Rinde und was damit zusammenhängt, ungleich über dieselbe verteilt. Am intensivsten ist die Abkühlung auf dem Grunde der Ozeane (durch die niedersinkenden kalten Gewässer), welche deshalb als Gebiete der stärksten Senkung zu betrachten sind.

2) Mit der ungleichen Abkühlung der festen Erdrinde geht Hand in Hand die Bildung von Schollen, die auf die Unterlage (das Erdinnere) einen ungleichen, einseitigen Druck ausüben; in den ozeanischen Gebieten ist der Druck am stärksten durch die Mehrbelastung der auflagernden Gewässer.

3) Durch den einseitigen ungleichen Druck wird das Gleichgewicht in der Unterlage gestört, aber auch das Bestreben hervorgerufen, dasselbe wieder herzustellen. Dies geschieht durch partielle Hebungen benachbarter Schollen in vertikaler Richtung.

4) In das Gebiet der Hebungen gehören schon die submarinen Sockel der Festländer, die nach und nach über das Niveau der Gewässer auftauchten, Archipele bildeten und sich zu Kontinenten zusammenschlossen. Die Vertiefung der Ozeane hält damit gleichen Schritt, oder besser, geht fortlaufend um einen Schritt voran.

Wir fassen somit im Einklange mit der Gesamtheit der neueren Geologen, die Senkungen als die eigentliche prinzipielle bewegende Kraft auf, durch welche die Unebenheiten auf der Oberfläche der Erde hervorgerufen werden, leiten aber von ihnen schliesslich nicht einen lateralen, sondern einen vertikal nach oben wirkenden Gegendruck ab, der durch die Bewegungen des Erd-

inneren, dessen Gleichgewicht gestört wird, fortlaufend ausgeführt wird, um dasselbe wieder herzustellen.

Der wesentliche Unterschied zwischen den gangbarsten Vorstellungen und den von uns vertretenen schärft sich dahin zu, dass von uns der einseitige ungleiche Druck betont wird und dass die Folgen desselben so aufgefasst werden, dass dadurch nicht ein Seitenschub auf die Ränder hervorgerufen wird, sondern ein Druck auf die Unterlage und durch die Vermittelung der nach den Seiten hin ausweichenden Unterlage der sinkenden Schollen, eine Hebung benachbarter Schollen erfolgt.

Es wird sich nun weiter vorzüglich darum handeln, ob durch diese Vorstellung die näheren Modalitäten der Gebirgsbildung (Faltenbildung) sich befriedigend erklären lassen.

Fünftes Kapitel.

Ueber die Modalitäten der Gebirgsbildung.

Wir gehen von nachfolgenden Vorstellungen aus:

1) Nimmt man den Fall, dass eine Scholle sich in der Nachbarschaft einer anderen abwärts sinkenden Scholle befindet, so wird durch die Bewegung ihrer nicht unnachgiebigen Unterlage, welche das gestörte Gleichgewicht herzustellen sucht, der Versuch gemacht, eine benachbarte Scholle emporzuheben. Wenn nun die Ränder dieser Scholle sich nach unten keilförmig verschmälern oder auch nahezu parallel sind und wenn der Druck von unten her kräftig genug ist, so wird sich dieselbe mehr oder weniger heben; sie wird durch die Bewegung der Unterlage emporgetragen und emporgehoben, immer langsam, wie das bei einer solchen Art von Bewegung nicht anders sein kann, wenn nicht gerade durch Auslösung einer Spannung ein rascherer Effekt erfolgt. Die emporgehobene Scholle bildet nun ein Plateaugebirge oder eine Hochebene oder vielleicht auch nur eine Tiefebene gegenüber dem Niveau des Meeres. Aber auch eine Tiefebene ist dem Grunde des Meeres gegenüber schon eine Erhebung (von nicht weniger als 3448 m nach der Berechnung von Krümmel), wenn sie auch dem Spiegel des Meeres gegenüber ganz unbedeutend ist. Selbst solche Erhebungen, die nur dem Sockel des festen Landes angehören, somit selbst noch sub-

marin sind, müssen doch schon als Hebungen gegenüber den positiven Tiefen des Meeres angesehen werden. Die Unterschiede von Plateaugebirgen, Hochebenen, Tiefebenen sind nur graduelle; sie stimmen alle darin überein, dass sie Hebungen sind. Ein stärkerer Druck vermag eine stärkere Erhebung zu bewirken; wenn aber der Druck schwächer ist an sich oder durch Reibung etc. die Kraft desselben vermindert wird, so wird auch der Effekt der Hebung ein kleinerer, weniger in die Augen fallender sein.

Die so gehobene Scholle (Hochebene etc.) und ihre Schichten, aus denen sie zusammengesetzt ist, müssen dabei nicht notwendig in der horizontalen Lage verharren, sondern die Scholle selbst und ihre sämtlichen Schichten können sich in einem gewissen Winkel aufwärts und abwärts neigen. Das hängt ab von der Bewegung der Unterlage (des Erdinneren). In der Regel werden jene Teile der Scholle, die von der Bewegung des Erdinneren zunächst erfasst werden, also die gegen die sinkende Scholle zu näher gelegene Seite, auch stärker gehoben werden, als jene Teile, welche von der sinkenden Scholle (Meeresgrund) entfernter liegen. Aber die Schichten einer so steigenden Scholle, deren Umrisse so gestaltet sind, wie wir oben angenommen haben, werden nicht gefaltet werden. Wegen ihres keilförmigen Umrisses stossen sie bei der Hebung auf kein wesentliches Hindernis; weder ihre Schichten noch die der stehenbleibenden Ränder erleiden einen Druck, der sie in Falten legen müsste und könnte. Eine Schleppung der äussersten Teile ist hiermit nicht ausgeschlossen.

2) Es kann aber auch der Fall eintreten, dass eine Scholle einem umgekehrten Keil gleicht, d. h. dass sie sich unten erbreitert. Hier können zwei Fälle eintreten. Wenn die Bewegungen des Erdinneren, hervorgerufen durch die benachbarte sinkende Scholle, diese Scholle treffen, so kann sie entweder dem emporhebenden Druck mit Erfolg widerstehen und in ihrer Lage verharren, die zuvor schon submarin war; dann wird sie im Meeresgrund verbleiben. Oder aber sie wird, trotz ihrer Gestalt, doch zwischen den stehenbleibenden Rändern hinaufgehoben, weil sie dem beständigen und starken Andrang nicht widerstehen kann. Wenn sie sich aber heben muss, so werden ihre Schichten zwischen den stehenbleibenden Rändern durchgepresst und müssen auf einen kleineren Raum sich zusammenfalten. Es findet bei der Langsamkeit, aber Unwiderstehlichkeit und Dauer des von unten wirkenden Druckes eine Umformung der Teile der Schollen statt, eine Faltung des Gesteins in sehr grossen

und kleinen Falten. Wie man sich diese Umformung denken will, ob als eine geheime Plastizität (Heim) oder als eine Zerreibung und Wiederverkittung der Massen (Mallet), können wir hier billig anheimgestellt sein lassen; denn auch die wertvollen Experimente von Daubrée (in seiner Experimentalgeologie) konnten selbstverständlich weder mit dem gleichen Material noch überhaupt unter den gleichen Bedingungen, wie sie in der Natur wirklich vorkommen, ausgeführt werden. Auch hier (bei den Kettengebirgen) können die Höhenunterschiede bei der Erhebung über den Grund des Meeres oder über den Spiegel desselben sehr verschieden sein. Schon bei der Hebung der submarinen Sockel der Festländer können Faltungen zu stande gekommen sein, ohne dass diese Faltungsgebirge je den Spiegel des Meeres überragt oder erreicht hätten.

Ferner ist hier hervorzuheben wie oben, dass der Druck von unten auf die sich faltende und hebende Scholle in der Regel so einwirken wird, dass jener Teil der Scholle, welcher der sinkenden Scholle (Meer) zugewandt ist, einen kräftigeren Druck durch die Bewegung der Unterlage erleiden wird, als die mehr entfernte Seite, deshalb auch stärker gefaltet und gehoben werden wird als letztere. Man heisst das die Asymmetrie der Faltengebirge, wenn nämlich auf der einen Seite ältere, tiefere Schichten emporstreben, als auf der anderen. Auch lässt sich daraus die Erscheinung erklären, dass der Steilrand der Faltengebirge meist dem Meere zugewandt ist.

Diese physikalisch zulässigen und keineswegs komplizierten Vorstellungen sind nun geeignet, auf eine Reihe von Erscheinungen ein Licht fallen zu lassen. Diese sind:

1) Die Tektonik des Meeresgrundes sowohl als auch der Kontinente.

Dass die Ränder der Kontinente mehr oder weniger erhöht sind, ob nun in Form von Falten- oder Tafelgebirgen oder Hochebenen, findet seine Erklärung darin, dass dieser Teil der Schollen der Energie der aufwärts drängenden Tendenz in nächster Nähe ausgesetzt war und die Depressionen in der Mitte der Kontinente, auf welche besonders auch Dana hinweist, erklären sich dadurch, dass sie am weitesten davon abliegen; der Meeresboden selbst aber weist keine steilen Böschungen und Faltungen auf, weil er in der Hauptsache Senkungsgebiet, nicht Hebungsgebiet ist.

Als zentrale Depressionen der Kontinente sind bekannt für das vereinigte Asien und Europa: die Gegend um den Caspi- und Aralsee; für Nordamerika: die Niederung des Mississippithales; für Süd-

amerika weist Wallace auf die Niederung des Amazonenstromes hin; für Afrika scheint dieselbe um den abflusslosen Tsadesee und für Australien um den ebenso beschaffenen Eyresee zu liegen.

2) Was den Bau der Gebirge anbelangt, so wurde auf die Asymmetrie desselben und die Lage des Steilrandes desselben schon zuvor hingewiesen. Sodann möchte auch ein Licht auf die seltsame Erscheinung fallen, dass ein Gebirge, das geographisch und paläontologisch als ein einheitliches aufgefasst werden muss, in verschiedenen Teilen seiner Erstreckung verschieden sich darstellt; z. B. das Juragebirge ist teils Faltengebirge (Schweiz), teils Plateaugebirge (Schwaben etc.); man müsste somit nach anderweitigen Grundsätzen den beiden Abteilungen dieses Gebirgszuges eine ganz verschiedene Genesis zuschreiben; nach unserer Auffassung ist es aber nicht nötig, die Einheitlichkeit dieses Gebirgszuges preiszugeben; es genügt anzunehmen, dass die gehobene Erdscholle nicht überall die gleichen Umrisse hatte, dass dieselbe im Südwesten die Gestalt eines umgekehrten Keils hatte (deshalb Faltengebirge), im Nordost aber keilförmigen Umriss besass, wodurch bei der Hebung ein Plateaugebirge entstand.

3) Dass die Anordnung der hauptsächlichsten Zonen der Vulkane, die sich auf dem Gebiete zwischen den sinkenden und aufstrebenden Schollen befinden, mit unserer Vorstellung in gutem Einklang sei, wurde schon oben besprochen. Hinzuzufügen ist nur noch, dass auch die Linien der sogenannten tektonischen Erdbeben, die teils den Bruchlinien der Gebirge und Meeresküste folgen, teils sie quer durchschneiden, damit ebenfalls harmonieren.

4) Die Oszillationen, die während der langen Zeit der geologischen Formationen stattgefunden haben und durch welche ein Schwanken und Wechsel zwischen Meeresbildungen und Land- oder Süsswasserbildungen hervorgerufen wurde, verursachen nach unserer Vorstellung keine wesentliche Schwierigkeit; denn eine Scholle kann im Laufe der Zeiten von verschiedenen Seiten her in verschiedenen Richtungen beeinflusst worden sein, so dass Schwankungen in der Lage der Oberfläche derselben unvermeidlich waren. Hierher gehören dann auch die positiven und negativen Verschiebungen des Meeresspiegels, die heutzutage noch beobachtet werden und mehr oder weniger sicher gestellt sind. Der Vorteil, den unsere Auffassung darbietet, dürfte eben darin bestehen, dass sowohl wirkliche Senkungen als auch wirkliche Hebungen (im vertikalen Sinne) mit ihr vereinbar sind. Es fällt denn doch in manchen Fällen recht schwer, sich gegen die Annahme und Anerkennung

der letzteren (Hebungen) prinzipiell verschliessen zu sollen und alle Änderungen auf Rechnung von Senkungen allein schreiben zu müssen, z. B. bei Skandinavien. Aber auch in Nordamerika (Uintagebirge) sind in neuester Zeit Beobachtungen gemacht worden, welche, wenn man die vertikalen Hebungen prinzipiell ausschliesst, nötigen würden, eine Senkung des gesamten Meeresspiegels im Betrage von 30 000′ und zwar seit der jüngeren Tertiärzeit anzunehmen (cf. Suess, Antlitz der Erde I. S. 734 u. 736). Eine Hebung durch Faltung ist hier ausgeschlossen, weil das betreffende Gebirge kein Faltengebirge ist. Am schwersten fällt es mit unserer Auffassung die Erscheinung der sog. Transgressionen des Meeres z. B. zur Zeit der oberen Kreideformation zu vereinigen. Allein es fragt sich hier doch, ob dieselben von den schon zuvor besprochenen Oszillationen (sub 4) prinzipiell verschieden seien, oder ob sie nicht vielmehr unter dieser Rubrik zu subsumieren seien.

Fasst man nun die Gesichtspunkte, welche in den obigen Ausführungen erörtert wurden, zusammen, so unterscheiden sich dieselben wesentlich von den Vorstellungen der Plutonisten. Es handelt sich für uns nicht um Hebungen allein, welche durch eine dem Granit innewohnende Kraft ausgeführt worden sein sollen, sondern die Initiative zu den Bewegungen, durch welche überhaupt die Unebenheiten auf der Erdoberfläche hervorgerufen werden, liegt auch nach unserer Auffassung, im Einklang mit der Gesamtheit der neueren Geologen, in der sinkenden Bewegung und zwar jener Schollen, welche den Grund der Weltmeere bilden und einen ungleichen Druck auf die Unterlage ausüben. Das Erdinnere hat in seiner hohen Temperatur und in seinem hohen spezifischen Gewicht zwar eine ganz bedeutende lebendige Kraft sich bewahrt, so dass dasselbe gegen eine Störung, die durch irgend eine Ursache hervorgerufen wird, nicht bloss rein passiv sich verhält, sondern die Störung auszugleichen sucht und auszugleichen vermag; aber dasselbe bedarf, um seine Energie wachzurufen, eines Anstosses, einer Störung von aussen durch den ungleichen Druck der sinkenden Schollen und der sich darüber lagernden tiefen Wasser der Weltmeere. Ähnlich in mancher Beziehung wie ein Schwebebalken, der auch erst infolge der ungleichen Belastung seine Ruhelage aufgibt und durch Bewegung, beziehungsweise Hebung am entgegengesetzten Ende, sein Gleichgewicht wieder herzustellen sucht und eventuell vermag.

Wir fassen aber anderseits die Unebenheiten der Erdoberfläche

auch nicht unter dem exklusiven Gesichtspunkt der Senkungen auf, wenigstens nicht als ein Zusammenbrechen der Lithosphäre ins Leere. Der gewöhnlich gangbaren Auffassung, welche von einem Nachsinken der Rinde auf den zu klein gewordenen Kern ausgeht, liegt offenbar die Vorstellung zu Grunde von einem Zusammenbrechen ins Leere. Sollen aber nun diesem Einbruch keine weiteren Erscheinungen nachfolgen, als die, dass eine konkave Unebenheit auf der Erdoberfläche entsteht? In solcher Weise mag eine kleine Höhlung im Kalkgebirge einstürzen; die Trümmer der Decke liegen auf dem harten starren Boden der ehemaligen Höhle und auf der Oberfläche zeigt sich nur eine entsprechende Einsenkung, eine konkave Unebenheit.

Aber das Erdinnere darf doch mit dem harten, starren, apathischen Boden einer felsigen Höhle nicht verglichen werden und auf eine Linie gestellt werden. Das Innere der Erde mag beschaffen sein wie es will, eine hohe Temperatur und ein hohes spezifisches Gewicht kann demselben nicht abgesprochen werden. Eben darin liegt aber eine lebendige Kraft, die zu den höchsten Leistungen befähigt, so dass von dem Erdinnern aus gegen den Zusammenbruch der Rinde mit Notwendigkeit reagiert werden muss und der Zusammenbruch selbst mit einer gewissen Leichtigkeit reguliert werden kann.

Man mag über die Dicke der Erdrinde sehr verschiedener Meinung sein, man wird auch die Ansicht zulässig finden können, dass der Unterschied zwischen Rinde und Kern nur eine Abstraktion sei, welche der Wirklichkeit gar nicht entspreche, so werden doch damit die oben ausgeführten Gesichtspunkte nicht wesentlich beeinflusst.

Das Zusammenbrechen der Lithosphäre geschieht nach unserer Vorstellung nicht ins Leere, sondern in das Volle, und der ganze Hergang erleidet dadurch so beträchtliche Modifikationen, dass der Verlauf ein anderer ist, als bei dem Zusammenbrechen ins Leere. Nach unserer Auffassung können die Senkungen nicht übermässig gross sein und überdies stellen sich Hebungen im Gefolge derselben ein, weil die Einbrüche nicht ins Leere, sondern in das Volle erfolgen.

In der That bewegen sich die Unebenheiten der Erdoberfläche in ihrem gegenwärtigen Zustande innerhalb sehr mässiger Grenzen Die tiefsten Abgründe unter dem Meeresspiegel liegen etwas mehr als 8000 m tief und ebensoviel ungefähr sind auch die höchsten Berggipfel über den Meeresspiegel erhaben. Das ist ungefähr eine

geographische Meile oder nur $^1/_{860}$ des Erdradius und nur $^1/_{1720}$ des Erddurchmessers. Wie ganz anders müsste sich das Verhältnis gestalten bei einem Zusammenbrechen ins Leere, in eine Kluft zwischen Rinde und Kern!

Nimmt man die Sockel der Festländer zur Hebung noch hinzu, so übersteigt sogar die absolute Ziffer der Hebungen der Landmassen die der Senkungen der Meeresgründe namhaft. Aber letztere dehnen sich über weite und breite Räume aus, während erstere nur in vereinzelten Punkten oder in schmalen Kämmen ihren Kulminationspunkt erreichen. Man sieht aber daraus, wie kräftig und mit welcher Leichtigkeit die gewaltige Macht des Erdinnern sich gegen die Vorgänge an der Oberfläche (Zusammenbrechen) geltend zu machen weiss.

Aber schon dieser, in so bescheidenen Grenzen sich bewegende Antagonismus zwischen dem Innern und zwischen der Erdoberfläche, vermag jene wundervoll grossartigen Erscheinungen hervorzurufen, die sich unseren Augen als Hochgebirge darstellen und als Abgründe des Meeres denselben sich entziehen!

Von besonderer Wichtigkeit ist nun aber noch die Zeit, in welcher die wichtigsten Unebenheiten der Erde, Tiefen und Höhen ins Dasein getreten sind, wenn auch nur die letzteren allein der Beobachtung direkt zugänglich sind.

Sechstes Kapitel.

Ueber die Zeit der Hebung der Kontinente und Gebirge.

Die Zeit, beziehungsweise die geologische Periode, innerhalb deren sich die Unterschiede zwischen Meer und Festland gebildet haben, wie sie ungefähr heute noch bestehen, wurde bei den bisherigen Erörterungen in der Schwebe gelassen; es wurde das Vorhandensein derselben als eine gegebene Thatsache angenommen. Wenn nun aber auch der Frage näher getreten wird, wann, in welcher geologischen Periode das heute noch in den Hauptzügen bestehende Verhältnis zwischen Festem und Flüssigem auf der Erdoberfläche sich festgesetzt habe, so muss man sich mit zwei vielfach Hand in Hand gehenden Fragen beschäftigen, nämlich: Wann traten die Kontinente auf und wann die hohen Gebirge?

Was den ersten Punkt betrifft, so glaubt PESCHEL[1], dass das Flächenverhältnis zwischen Wasser und Land, annähernd wie 5 : 2, auch in früheren Erdzeitaltern das nämliche gewesen sein möge. Somit würden die Kontinente in ihrem wesentlichen Umfang und Flächeninhalt bis in die alten Erdperioden zurückzudatieren sein. Allein die Beobachtungen der Paläontologen sind hiermit nicht in Einklang zu bringen. Wäre es wirklich Thatsache, dass die Kontinente in ihren Hauptzügen tief in die Reihe der geologischen Perioden zurückreichen, so müssten auf ihrem Gebiete die meerischen Sedimente fehlen oder jedenfalls nur sehr untergeordnet an den Rändern der Kontinente auftreten; das Innere der Kontinente aber müsste von aufeinanderfolgenden Süsswasserbildungen erfüllt werden, oder auch, im Falle dass das Land trocken war, müssten Sedimentbildungen überhaupt fehlen. Nun ist aber bekannt, dass meerische Schichtenkomplexe nicht nur nicht fehlen, sondern eine sehr grosse Verbreitung auf den Kontinenten haben, während Süsswasserbildungen erst in den jungen geologischen Perioden eine wichtigere Rolle spielen. Schon in den mittleren und noch mehr in den alten Perioden treten dieselben gegenüber den Meeresbildungen entschieden zurück, im Durchschnitt desto stärker, je älter die Formation ist. Die Kärtlein, welche oft zur Illustration über die Verteilung von Meer und Land entworfen werden, geben hiervon eine Anschauung, jedoch nur eine ungenügende. Dieselben begnügen sich in der Regel, jene Schichten, z. B. des Jurameers einzutragen, welche zu Tage treten; wo dieselben aus irgend welchem Grund, z. B. wegen Denudationen, fehlen oder auch nur nicht zu Tage treten, nicht direkt nachweisbar sind, weil verdeckt, werden sie auch nicht eingetragen und wird hier der Vermutung Raum gelassen, dass hier Land gewesen sein könne. Man wird an solche Illustrationen selbstverständlich keine sehr strengen Anforderungen stellen dürfen, aber sie räumen in vielen Fällen den Landmassen einen viel zu grossen Spielraum ein. Wollte man nach dem gleichen Grundsatze verfahren und Land bloss da angeben, wo dasselbe durch Süsswasserbildungen nachgewiesen ist, den ganzen Rest aber als Meer bezeichnen, so würde sich ergeben, dass, mit Ausnahme der jüngsten Perioden, das Festland und die Süsswasserbildungen eine in hohem Grade untergeordnete Rolle spielen. Die Zeit ist freilich noch fern, da ein richtiges Bild von der ursprünglichen Verteilung von Land und Wasser in jeder Periode gegeben

[1] Neue Probleme der Erdkunde, S. 110.

werden kann; aber diese wenigen Bemerkungen mögen genügen, um zu zeigen, dass die Auffassung PESCHEL's nicht stichhaltig ist. Hierzu kommen noch die klimatischen Verhältnisse, welche in neuester Zeit, besonders auf Grund der fossilen Pflanzen, man darf sagen, festgestellt werden konnten. Die Untersuchungen von HEER und des Grafen SAPORTA geben ganz feste Anhaltspunkte dafür, dass, je weiter man in die alten Perioden zurückgeht, das Klima immer mehr den Charakter des ozeanischen Klimas erlangt. Gleichförmigkeit bis zur gänzlichen Verwischung der klimatischen Zonen und zugleich ansehnliche Wärme sind so stark hervortretende Züge der alten Perioden, dass an der sehr vorherrschend ozeanischen Beschaffenheit der Erdoberfläche nicht gezweifelt werden kann und eben damit Kontinente im heutigen Sinne ausgeschlossen sind. Erst in der Tertiärzeit (beziehungsweise in der obersten Kreideformation) machen sich zonenweise Abstufungen der Temperatur allmählich geltend. Das ist aber zugleich die Zeit, in welcher auch in der That der heutige Zustand der Verteilung des Festen und Flüssigen sich allmählich anbahnt. Aber noch zur eocänen und mittelmiocänen Zeit ist das Klima vom heutigen weit genug entfernt, ganz im Einklang damit, dass das Nummulitenmeer, Molassenmeer und sarmatische Meer damals wenigstens unseren Kontinent mehr oder weniger zerstückelten und in Inseln auflösten. Erst in der pliocänen Formation nähert sich das Klima ganz deutlich dem heutigen. Das war aber auch die Zeit, in welcher die Landmassen in der Hauptsache ihre heutige Gestaltung erlangt haben und die Untersuchung der quartären Schichten ergibt, dass, mit Ausnahme lokaler Oszillationen, die Kontinente in die quartäre Zeit schon fertig eingetreten sind. „Das quartäre Glacialphänomen entwickelte sich auf dem heutigen Boden“ (PENCK: Vergletscherung der deutschen Alpen, S. 445).

Hand in Hand mit der Frage nach der Zeit der Bildung der Kontinente geht die andere Frage: nach der Zeit der Erhebung der hohen Gebirge. Bei einer Anzahl der wichtigsten Hochgebirge sind die Untersuchungen der Geologen so weit gediehen, dass der Abschluss der hauptsächlichsten Erhebung direkt durch Beobachtung der Lagerung konstatiert ist. In den Alpen z. B. ist die obere Süsswassermolasse noch mitgehoben worden; die Zeit der letzten, den gegenwärtigen Zustand bedingenden Erhebung fällt somit in die Pliocänperiode. Desgleichen hat in der Tertiärzeit die Hebung des Himalaya, der Anden und Cordilleren, des Kaukasus, stattgefunden; überhaupt wird dem Grundsatz, dass die höchsten Gebirge die jüng-

sten und die jüngsten die höchsten seien, Geltung zuerkannt. Eine Unsicherheit wird nur durch das Bedenken hervorgerufen, dass in den alten Perioden wohl schon Hochgebirge bestanden haben könnten, aber durch Verwitterung abgetragen worden seien (cf. PESCHEL l. c. S. 134).

Diesen Bedenken möchte jedoch kein grosser Wert beizulegen sein. Wenn grosse Gebirge im Laufe der Zeiten durch Erosion und Verwitterung auch in der That zerstört werden können, so bilden sich dabei ganz charakteristische Zerstörungsprodukte, welche von denselben auch nach ihrer Zerstörung noch Kunde geben müssten. An den heutzutage bestehenden Hochgebirgen, welche ja auch den zerstörenden Einflüssen schon lange unterliegen, lassen sich diese Produkte leicht studieren. Es sind vorzüglich Gerölle, die sich als Erzeugnis von stark fliessenden Gebirgsgewässern zu erkennen geben und die als Geröllbänke, Nagelfluhe, in die Reihe der Schichten eintreten, ohne ihren spezifischen Charakter je ganz zu verlieren. Erst in weiter Entfernung vom Gebirge setzen sich Lehmschichten ab, oder Schichten von Schlamm und Sand, die eine mehr homogene Beschaffenheit zeigen, während in der Nähe der Gebirge selbst die Gerölle sehr gemischt sind, dem mannigfaltigen mineralischen Charakter der Gebirgsketten entsprechend, durch welche die Bäche und Flüsse ihren Lauf genommen haben. Eine ganz eigentümliche und sehr sorgfältig untersuchte Beschaffenheit tragen ferner die Produkte der Gletscher an sich (erratische Blöcke und gekritzte Steine etc.). Allein alle diese Erzeugnisse sind vor der Tertiärzeit nicht nachzuweisen und die Gletscherprodukte selbst nicht vor der Quartärperiode. Nach dem Zeugnis der Polarfahrer sind selbst in den Polarländern in den Schichten der Tertiärzeit und der früheren Perioden keinerlei Gletscherprodukte vorhanden [1]. Jedenfalls treten jene Schichten, welche der Abtragung von Gebirgen ihre Entstehung verdanken, als eigentliche Gebirgsformen erst in der Tertiärzeit auf (Nagelfluhe) und setzen in die quartäre Zeit und in die Gegenwart herein, indem sie überall ihren Ursprung deutlich genug verraten. Die Grauwacken, welche um der Beschaffenheit ihres Schichtenmaterials willen, als Zeugen eines uralten ausgedehnten Festlandes schon in den sehr alten Formationen des Übergangsgebirges in Anspruch genommen

[1] cf. HEER: Kreideflora der arktischen Zone im III. Band der Flora fossilis arctica S. 30 und dessen Urwelt der Schweiz, 2. Auflage, S. 668 Note, woselbst das sehr auffallende Vorkommen von erratischen Blöcken im Miocän der Superga besprochen und gedeutet wird.

wurden, möchten wir lieber als ein Produkt der Brandung ansehen. Dieses Material wurde erzeugt durch die Gewalt der Wellenschläge des Meeres, noch bevor dasselbe den Meeresspiegel selbst überschritten hatte. Für diese Auffassung spricht deutlich genug, dass in der ganzen Übergangsformation die Fossilien des Meeres so gewaltig dominieren, und dass von Landfossilien kaum eine Spur zu finden ist. Wären damals Land- und Süsswasserbildungen in irgend ausgedehnterem Umfang über das Meer hervorragend vorhanden gewesen, so könnten die Meeresfossilien in diesen Schichten nicht so bedeutend überwiegen (cf. Naumann: Lehrbuch der Geognosie II. Bd. S. 301 und folgende). Schon oben wurde angeführt, wie spärlich zur Steinkohlenzeit die Landbildungen über die Oberfläche der Erde hin zerstreut waren; in den Übergangsformationen war das ohne Zweifel noch in verstärktem Grade zutreffend; jedenfalls sind die Land- resp. Sumpfpflanzen, die in der Steinkohlenformation eine so hervorragende Rolle spielen, in dem Übergangsgebirge spärlich vertreten und die daselbst vorkommenden Fucoiden sind marinen Ursprungs (cf. Naumann l. c. S. 307). Selbst die Nagelfluhen der Tertiärperiode setzen noch nicht eine bedeutende Höhe des abzutragenden Gebirges voraus. Die gewaltige Mächtigkeit derselben lässt sich nur erklären, wenn man eine stetige Senkung des Bodens an dem Orte ihrer Bildung annimmt, wobei dann die Höhe des Gebirges selbst nicht weiter von Bedeutung ist. Ferner wurde von manchen Paläontologen darauf hingewiesen, dass die sonderbare Mischung der Flora der Tertiärzeit, besonders der Miocänzeit, die Annahme begünstige, dass in derselben Erzeugnisse der Ebene und der Gebirge vorliegen. Allein an vielen Orten kommt genau die gleiche Mischung vor, ohne dass man irgend einen Anhaltspunkt besässe für obige Annahme; der ganze Bau mancher Gegenden (Oeningen, Heggbach etc.) spricht dafür, dass die miocänen Schichten, die heutzutage nur ganz geringe Niveauunterschiede unter sich zeigen, in der Tertiärzeit selbst noch flacher gewesen sein mögen, als jetzt. Die Standorte jedoch der Pflanzen können mannigfaltig gewesen sein, entweder sehr sandig, felsig und trocken, oder aber auch sehr feucht, womit eine ausreichende Erklärung des Vorkommens gegeben ist. Nach Erörterung dieser Fragen erscheint es mehr als wahrscheinlich, dass die Kontinente, wie auch die Gebirge, in einer verhältnismässig sehr jungen geologischen Periode ins Dasein getreten sind.

Wie leicht man aber in der Schätzung des Alters eines Gebirges (das nicht einmal ein Hochgebirge ist), so lang es nicht sehr genau

untersucht ist, fehlgreifen, beziehungsweise zu hoch greifen kann, davon nur ein Beispiel. Der Schwarzwald nebst Odenwald und Vogesen galt lange Zeit hindurch als ein uraltes Festland und Gebirge, um dessen Saum und Fuss herum die Meeresformationen in konzentrischen Kurven sich anlagerten. Bleicher und Lepsius, sowie zuvor schon Fraas und Deffner gelangten aber auf Grund einlässlicher Untersuchungen zu dem Resultate, dass das ganze südwestliche Deutschland mit Einschluss der Gegend des oberrheinischen Gebirges bis zu Ende der Jurazeit vollständig vom Meere bedeckt war und dass die Sedimente desselben sich dort ganz regelmässig übereinander ablagerten und dass erst die jüngste Tertiärzeit zur jetzigen Gestaltung des oberrheinischen Gebirgssystemes am meisten beigetragen hat (Lepsius). Ebensowenig ist den Profilen von „erloschenen" Gebirgen aus Canada ein wirkliches Gewicht beizumessen. Diese Schichten selbst mögen sehr alt sein, aber die Faltung derselben und die Abrasion derselben kann dessenungeachtet sehr jung sein. Und überdies folgt aus der starken Faltung noch keineswegs, dass dieselben sich als Hochgebirge hoch über den damaligen Meeresspiegel erhoben haben müssten, selbst wenn die Faltung und die Schichten gleich alt wären, wofür der Beweis schwer zu liefern sein wird. Es ist ja gar nicht in Abrede zu ziehen, dass selbst schon die submarinen Sockel der Erdfesten ein Produkt der Hebung sind; die in Frage stehenden gefalteten Schichten können somit schon unter dem Meeresspiegel gefaltet worden sein und trotz ihrer Faltung unter demselben verblieben sein; oder, wenn sie den Meeresspiegel vielleicht teilweise überragten, so kann die Überragung eine sehr geringfügige gewesen sein. Aus der Thatsache der Faltung allein lässt sich noch keineswegs irgend ein Schluss auf die absolute Meereshöhe eines Gebirges ableiten, so wenig als auf das Alter desselben; die Untersuchungen von Heim über den Gebirgsbau der Alpen haben darüber genügendes Licht verbreitet. Dass aber die Hebung der submarinen Sockel selbst keine geringfügige ist, sondern einen namhaften Betrag erreicht, geht aus der Berechnung von Prof. Krümmel in Kiel hervor, der die Mitteltiefe des Meeres, somit die Basis der Sockel der Festländer auf 3438 m berechnet (Vergleichende Morphologie der Meeresräume S. 102).

Was befand sich nun ehedem an Stelle der heutigen Kontinente? Wir können mit der Antwort nicht zögern: Archipele von kleineren und grösseren Inseln. Sie erfüllten mehr oder weniger

dicht gedrängt den Raum, den heute die Kontinente einnehmen und ohne Zweifel auch noch andere Räume, hauptsächlich in dem weitgedehnten Stillen Ozean. Die Koralleninseln daselbst werden oft als Zeugnis eines untergesunkenen Kontinentes betrachtet; mit gleichem und vielleicht besserem Recht wird man dieselben als Anzeichen eines versinkenden Archipels auffassen können.

Freilich spricht sich auch Professor HEER auf Grund seiner reichen Erfahrungen über die paläontologischen Zustände der nordischen Gegenden im Sinne von Festlandmassen daselbst schon zu einer früheren Tertiärzeit, vielleicht schon zu Ende der Kreidezeit aus. Im VII. Bande seiner Flora fossilis arctica S. 220 heisst es: „Welche Gestalt Grönland zur Tertiärzeit gehabt habe, lässt sich nicht bestimmen. Der grosse Reichtum seiner Flora lässt uns aber nicht zweifeln, dass wir es hier nicht mit kleinen Inseln, sondern mit einem grossen Festland zu thun haben. . . . Zur Tertiärzeit bestand wahrscheinlich eine Landverbindung mit Europa über Island, die Faröer und Schottland, wodurch wir eine Brücke für die zahlreichen Pflanzen erhalten, welche Grönland mit Europa gemeinschaftlich hat und die wahrscheinlich vom Norden ausgegangen sind. Die Tiefseekarten zeigen uns, dass das Meer zwischen Europa und Ostgrönland eine geringe Tiefe hat. Dass dieses tertiäre Festland von Grönland hoch in den Norden hinaufreichte, zeigt uns das Pflanzenlager von Grinnell-Land, das noch bei fast 82° n. Br. die Grönländer Tertiärflora aufweist; und dass es zeitweise bis Spitzbergen reichte, macht die beträchtliche Zahl ihrer gemeinsamen Arten sehr wahrscheinlich.“

Aber ich glaube doch nicht, dass die aufgeführten Thatsachen zu einem solchen Schlusse nötigen, aus folgenden Gründen:

1) Wenn eine Festlandverbindung zwischen Grinnell-Land, Grönland, Spitzbergen und Island bis nach England und dem europäischen Kontinent auch nur zeitweilig bestanden hätte, so wäre hier ein so gewaltiges Stück Festland im hohen Norden vorhanden gewesen, dass es undenkbar ist, wenigstens auf unserem Standpunkt, dass hier ein Klima herrschen konnte, wie gerade die Paläontologen dasselbe mit Recht fordern. Dieser ansehnliche Kontinent (den auch WALLACE skizzirt) hätte sich in hohen Breiten unausbleiblich ein Klima gebildet, das mit jenem von den Paläontologen geforderten in schroffstem Gegensatze gestanden wäre.

2) Zur Steinkohlenzeit ist unbestritten die Übereinstimmung der Flora unter sich in allen Breitegraden eine noch ansehnlich grössere, als zur Miocänzeit. Sollte man sich genötigt erachten, daraus zu

schliessen, dass zur Steinkohlenzeit über alle jene Breitegrade hin, auf welchen sie sich vorfindet, ein zusammenhängendes Festland sich ausgebreitet habe? Das wäre ein Kontinent, der die heutigen Kontinente nicht bloss an Ausdehnung erreicht, sondern, besonders in hohen Breiten, noch übertrifft. Ich kann nicht glauben, dass man sich zu einem solchen Wagnis entschliessen kann; es steht dem nicht bloss der meerische Bergkalk dieser Periode entgegen, sondern der gesamte Charakter der Flora selbst, der nicht auf ein grosses Festland, sondern auf insulare Lage hinweist. Ich glaube, dass für die Steinkohlenperiode die Annahme von niedrigen sumpfigen zerstreuten Inseln und Archipelen allein entsprechen kann; dass somit auch für die Miocänzeit ein solcher geographischer Zustand nicht absolut abzulehnen sein wird, wenn auch die Inseln und Archipele in dieser Zeit an Umfang und Erhebung gewonnen haben. Eine nähere Verbindung der Archipele selbst unter sich und durch andere Archipele in dem jetzt leeren Raume der Ozeane ist damit nicht ausgeschlossen, sondern wird unbeanstandet zuzulassen sein; nur muss auch Raum gelassen werden für die Zirkulation der ozeanischen Gewässer, namentlich für den Erguss warmen Wassers bis in die höchsten Breiten hinauf. Das kann aber nur eintreffen bei der Annahme von Archipelen. Eine wirkliche ununterbrochene Landverbindung von Grönland über Island und die Faröerinseln nach Schottland hätte, auch wenn man sich nur eine schmale aber ununterbrochene Verbindung vorstellt, den Erguss warmen Wassers in die hohen Breiten abgeschnitten und damit die Erhöhung der Wärme in jenen Gegenden ausgeschlossen. Der im siebenten Band der Flora fossilis arctica mitgeteilte, auf Autopsie beruhende Bericht Steenstrup's (l. c. S. 230) über die Lagerungsverhältnisse der grönländischen Schichten ist in der That unserer Auffassung günstig. Er glaubt, dass die Wälder auf Gneissfelsen daselbst gewachsen seien und die Pflanzenschichten nur die durch das Meerwasser abgelagerten Überreste aufweisen. Beide aber, Heer und Steenstrup, sprechen sich gegen Nordenskiöld aus, welcher dem grönländischen Festland den Charakter einer von Oasen unterbrochenen Sandwüste zur Zeit der Kreide- und Tertiärformation beilegt (cf. l. c. S. 226 u. 230).

Das Stadium des Archipels ist überhaupt eine ganz naturgemässe Entwickelungsstufe. Wenn ein Kontinent niedersinkt, so löst er sich zunächst in einen Archipel auf und wenn ein Kontinent sich erheben will, so muss er zuvor die Stufe eines Archipels zurückgelegt haben. Man kann sich auch gar nicht denken, wie dieses Stadium über-

sprungen werden könnte. Ein ganz gleichmässiges Auftauchen einer gewaltigen Fläche, wie die Kontinente sind, ohne alle Höhenunterschiede, ist an sich schwer vorzustellen; sind aber Höhenunterschiede da, so ist auch ein Archipel gegeben. Wenn aber in abstrakter Weise auch diese Möglichkeit angenommen würde, so wird das nie rastende, durch Stürme und Ebbe und Flut bewegte Meer eine solche Fläche allseitig an den verwundbaren Punkten angreifen, in dieselben einzudringen suchen und schliesslich sie in Teile zerlegen oder, was das gleiche ist, dieselbe nachträglich in einen Archipel umzugestalten suchen. Mit der Existenz von Archipelen an Stelle der Kontinente sind am besten auch die klimatischen Zustände der Vorzeit zu vereinigen. In einem Kontinent ändert sich das Klima alsbald ab im Sinne und in der Richtung eines exzessiven Verlaufes; ein Archipel vermag das nicht; hier bleibt das ozeanische Klima herrschend. Es weisen somit alle Beobachtungen, welche der frühen Existenz von geschlossenen Kontinenten entgegenstehen, positiv auf Archipele hin, sowohl die, gegenüber den meerischen Sedimenten, spärlichen Sedimente von süssem Wasser, als auch die wichtigen klimatischen Zustände der alten und mittleren Formationen. In der Tertiärzeit erst machte die terripetale Tendenz (Bronn) raschere Fortschritte, um gegen das Ende derselben jenen Umfang zu erreichen, der gegenwärtig besteht. Damit Hand in Hand geht auch die Skala der klimatischen Entwickelung. In der ersten Abteilung wurde jedoch schon hervorgehoben und zu begründen versucht, dass, um die hohe Gleichförmigkeit und Wärme der alten und mittleren Perioden zu begreifen, noch eine Umhüllung, eine Dunsthülle, von den Wendekreisen zu den Polen hin angenommen werden müsse.

Wenn eine Berechtigung zu der Annahme, dass die Kontinente und hohen Gebirge erst in sehr jungen geologischen Perioden ins Dasein getreten seien, nach dem Standpunkte, der in obiger Darlegung zu begründen gesucht wurde, auf keine unüberwindlichen Hindernisse stossen dürfte, so ist damit doch nur der empirische Sachverhalt konstatiert. Die weitere Aufgabe, der man sich nicht wird entziehen können, wird sein, die Gründe dieser Vorgänge wie sie in der Natur und Entwickelung der Verhältnisse liegen, aufzusuchen und darzulegen. Erst wenn es gelingt, auch die Zeit der Erhebung der Kontinente und Gebirge in Zusammenhang zu bringen mit der terripetalen Entwickelung und klimatischen Umgestaltung der Erdoberfläche und dieselben schliesslich unter dem allgemeinen Prinzip der (ungleichen) Abkühlung der Erdoberfläche

unterzubringen — wird die angestrebte Lösung der Frage befriedigen können.

Die bisherigen Versuche, die Zeit der Erhebung der Gebirge zu motivieren, bewegen sich wesentlich vielfach um die Vorstellung, welcher Pilar (Abyssodynamik, S. 192) einen bündigen Ausdruck verleiht: „Der Wärmeverlust und folglich auch die Kontraktion des Erdkerns wird ja progressiv stärker“, wobei die Vorstellung zu Grunde liegt, dass die Gebirge das Produkt der Kontraktion der Erdrinde seien. Allein diese Annahme einer progressiven Verstärkung ist physikalisch nicht haltbar. Mousson[1] sagt über das Erkalten einer sehr grossen Kugel: „Bei einer ungemein grossen und schlecht leitenden Kugel kann die oberflächliche Temperatur so weit sinken, dass der äussere Wärmeabfluss sehr schwach wird; zum Ersatz braucht nur sehr wenig nachzufliessen und der Körper stellt einen grossen Wärmevorrat dar mit nahezu unveränderlicher Temperatur, der seine Wärme sehr lange bewahrt.“ Der Wärmeverlust der Erde wird demnach nicht in dem Sinne progressiv stärker, dass durch ihn progressiv immer stärkere Wirkungen hervorgebracht würden; im Gegenteil, die Energie desselben nimmt immer mehr ab und die Wirkungen werden stets schwächer. Jene Vorstellung hätte nur in dem Falle etwa eine gewisse Berechtigung, wenn man sich der Ansicht hingeben dürfte, als ob die Erhebung der Kontinente und ganzer Kettengebirge durch die Spannkraft von Gasen verursacht worden wäre. Bei solcher Annahme könnte man zugestehen, dass, je dicker die Erdrinde wurde im Laufe der geologischen Perioden, die Ausbrüche der Gase wegen des Widerstandes in immer grösseren, längeren Pausen, aber dann um so energischer sich einstellten und ihre Wirkung eine um so grössere war. Allein jene Ansicht ist mit vollem Recht längst verlassen worden.

Will man nun der Lösung dieser Frage nach der Zeit der Erhebung der Gebirge näher treten, so enthält dieselbe zwei Fragepunkte: 1) warum war die lange Reihe der alten geologischen Perioden so wenig geeignet, Kontinente und hohe Gebirge hervorzubringen und 2) welche Umstände begünstigten das Hervortreten derselben in der Tertiärzeit, hauptsächlich gegen das Ende derselben?

ad 1) Eine ungleiche Abkühlung musste sich auf der Erdoberfläche schon in der azoischen Periode, d. h. in jener Periode geltend machen, da der allumfassende Ozean, nach einer sehr allgemein an-

[1] Physik auf Grundlage der Erfahrung, II. Teil, S. 153.

genommenen Theorie, noch eine so hohe Temperatur besass, dass lebende Organismen in ihm nicht bestehen konnten. Wenn in dieser Periode auch die Warmwasserheizung eine sehr durchgreifende war und die damals bestehende konstante Wolkenumhüllung eine sehr grosse Gleichförmigkeit der Temperatur überall, unter allen Breitegraden, herbeiführen musste, so musste doch das Wasser an den Polen und in ihrer näheren Umgebung eine, wenigstens um einige Grade geringere Temperatur annehmen, als am Äquator und unter den Tropen. Die Abkühlung ging unter dem Schutze der konstanten Wolkenhülle sehr langsam vor sich, aber sie machte doch Fortschritte und in den höchsten Breiten etwas schnellere, als unter den Tropen. Somit stellte sich auch eine Strömung zum Zweck der Temperaturausgleichung der Gewässer in ihren schwachen Anfängen ein. Die Gewässer an den Polen waren sicher nicht kalt im absoluten Sinne des Wortes, aber sie waren doch weniger warm, als die des Äquators; dadurch wurde eine Ausgleichung nötig. Die relativ weniger warmen Gewässer flossen, nachdem sie auf den Meeresgrund niedergesunken waren, daselbst dem Äquator zu, während die wärmeren Gewässer des Äquators oberflächlich in die hohen Breiten abflossen. Sobald aber einigermassen abgekühlte Wasser auf den Meeresboden niedersanken, fingen sie auch an, daselbst Wärme abzufordern, veranlassten auf dem Grund des Meeres langsame Verminderungen des Volumens oder Senkungen. Durch die Senkung des Meeresgrundes auf den besuchtesten Stromwegen der relativ abgekühlten Gewässer wurde so von Anfang an die Lage der Ozeane vorgebildet. In anderen Gegenden des Meeresgrundes aber, die nicht oder weniger von abgekühlten Wassern besucht wurden, traten ebenso langsam, als Korrelat der Senkungen, Hebungen ein mit dem Charakter säkularen, ruhigen, gleichmässigen Aufsteigens. Die Hebungen blieben aber zunächst noch lange Zeit submarin; es wurden die submarinen Sockel der späteren Kontinente langsam aufgebauet.

Da der allumfassende Ozean der ältesten Zeiten nach der Berechnung Krümmel's (Versuch einer vergleichenden Morphologie der Meeresräume, S. 107) eine gleichmässige Tiefe von 1375 Faden oder 2461 m besass und die Wolkenhülle nur eine sehr langsame Abkühlung zuliess, so war eine sehr lange Zeit säkularer Senkung und Hebung erforderlich, bis nur der Meeresspiegel selbst erreicht wurde. Nur vereinzelte, wenig umfangreiche Inseln und nachher Archipele tauchten nach und nach auf; doch waren sie wegen des Fortganges

der ungleichen Abkühlung trotz vieler Schwankungen in stetem Zunehmen begriffen. Die terripetale Tendenz (Bronn) der Erdoberfläche ist nur eine Folge der ungleichen Abkühlung derselben und gelangt nur durch das Stadium der vorherrschenden Archipelbildung hindurch zur Geltung. Wenn der Annahme überhaupt eine Wahrheit zu Grunde liegt, dass durch das Zusammenwirken von Senkung und Hebung der gegenwärtige unebene Zustand der Erdoberfläche hervorgebracht worden sei, so ist ein allmähliches Sinken des Meeresgrundes und allmähliches Steigen des trockenen Landes über die Meeresfläche, das ist das Stadium der Archipele, als notwendige Konsequenz nicht in Abrede zu ziehen. So lange jedoch das feste Land selbst in Archipele zerstückelt war, so lange war selbstredend auch noch keine Möglichkeit da für die Existenz jener Gebirge, welche die Räume von Kontinenten in Anspruch nahmen.

Da der Prozess der ungleichen Abkühlung sich sehr langsam vollzog, so kann es nicht befremden, dass die alten und selbst die mittleren geologischen Perioden weder Kontinente noch Gebirge zeigen, die den Kontinenten entsprachen. Dies der Grund der Abwesenheit der Gebirge in den Urzeiten. Hiermit stimmt auch, trotz anderweitiger Abweichung in der Gesamtauffassung, eine Bemerkung von Suess in seinem neuesten Werk (Antlitz der Erde I. S. 5) überein, der sich über das Alter der Kontinente so äussert: „Die hohen Sockel, auf denen unsere Kontinente liegen, mögen also sehr alt sein, sie mögen zum grossen Teil weit in die mesozoische Zeit hinaufreichen; aber für die paläozoische Periode könnte man der Voraussetzung allgemein persistierender Festländer nicht zustimmen.“

ad 2) Allein die terripetale Entwickelung der Erdoberfläche machte stetige Fortschritte und die Zeit musste kommen, wenn auch spät, dass das feste Land einen Umfang gewann, der bei den klimatischen Zuständen sich geltend zu machen anfing. Auf der Oberfläche bewirkt das feste Land gegenüber dem Ozean stärkere Schwankungen der Temperatur; das Land begünstigt durch Landwinde Unterbrechungen der konstanten Wolkenhülle, wodurch der Unterschied zwischen Zustrahlung und Ausstrahlung der Wärme vermehrt wird. Die seitherige Gleichförmigkeit des Klimas musste somit Einbusse erleiden, zumeist in jenen Gegenden, welche schon wegen des ungleichen Standes der Sonne in ihrem jährlichen Umlaufe, an sich stärker ausgeprägte Unterschiede der Jahreszeiten haben; in hohen und mittleren Breiten machten sich, gegenüber der

früheren Gleichförmigkeit, andere klimatische Zustände geltend, die klimatischen Zonen scheiden sich aus. In den Polarländern der nördlichen Hemisphäre sind in der That solche Zustände nachgewiesen. Zur Zeit der Steinkohlenformation, selbst noch zur Zeit der Juraformation bestand kein nachweisbarer Unterschied der Zonen; zu Ende der Kreideformation tauchen dieselben in schwachen Anfängen auf; in der Miocänzeit sind sie so weit vorhanden, dass Grinnell-Land 8° C. mittlere Jahrestemperatur zeigt und Spitzbergen 9° C. gegenüber von ca. 20° C. in mittleren Breiten (Schweiz) (cf. Heer, Urwelt, zweite Auflage, S. 657). In den genannten Polarländern war die Pflanzenwelt schon auf einen Winter eingerichtet; denn die Laubbäume daselbst trugen sämtlich nur fallendes Laub. Die Winter waren sicher nicht streng, die Temperatur mochte vielleicht wenig unter 0° fallen, aber bei der langen Winternacht sich doch schon ziemlich lang auf einem niedrigeren Stand halten, wenn auch nur auf dem Lande selbst mit Ausschluss des Meeres. Vergleicht man mit diesen nordischen Zuständen jene des antarktischen Polarkreises, so fehlen hier freilich direkte Beobachtungen ganz, aber es darf nicht äusser acht gelassen werden, dass der antarktische Kontinent eine viel zentralere Lage einnimmt und nahezu den ganzen Polarkreis ausfüllt. Man braucht auch hier nicht anzunehmen, dass zur Tertiärzeit daselbst schon ein geschlossener Kontinent bestand; wenn auch nur ein Archipel daselbst sich vorfand, so wird wegen der ungünstigen zentralen Lage desselben die Winterkälte daselbst eine strengere gewesen sein, als im Norden (Spitzbergen). Es ist eine Annahme, aber keine zu gewagte, dass zur Miocänzeit während des Winters der Frost hier seine Wirkungen nicht bloss auf das Land ausübte, sondern auch auf die Buchten des Meeres erstreckte, dass sogenanntes Baieneis sich bildete; es ist möglich, dass zwischen den innersten Inseln dieses Archipels vielleicht monatelang eine Überbrückung durch Eis stattfand, so dass dann die Mächtigkeit und die Masse des Eises beträchtlich werden konnte.

Eine solche klimatische Beschaffenheit, die ganz im Bereich der Möglichkeit und sogar der Wahrscheinlichkeit liegt, musste nun die tiefstgehenden und sehr weitverbreiteten Folgen nach sich ziehen. So lange überhaupt kein Eis bestand oder dasselbe nur auf dem Lande selbst sich bildete, aber das Meer sich frei erhielt, bestanden immer nur relativ schwache Temperaturdifferenzen im Meerwasser selbst, die ebendeshalb auch nur langsame Folgen haben konnten. Die Ausgleichungen der Temperaturdifferenzen gingen auch jetzt nicht

spurlos vorüber, aber ihre Folgen verteilten sich in ruhigem Verlauf auf die lange Reihe der geologischen Formationen.

Nun tritt aber das Eis mit ganz anderen Ansprüchen an Temperaturausgleichung heran, als zuvor je gemacht wurden. Wir haben schon oben angeführt, wiederholen aber absichtlich, dass ein Pfund Eis von 0°, vermischt mit einem Pfund Wasser von 79° C. zwei Pfund Wasser von 0° gibt[1]. Das Eis tritt somit, wenn es in einiger Ergiebigkeit gebildet worden ist, mit ungeheuren Ansprüchen hervor, mit vielmal grösseren, als das flüssige Wasser des Meeres selbst je machen kann und diese Ansprüche werden an den Meeresboden gerichtet. Nachdem nämlich das Eis selbst geschmolzen ist, sinken die kältesten, dichtesten Wasser zu Boden und verbreiten nun über den Meeresboden hin eine eisige Temperatur, die ausschliesslich auf Ausgleichung vom Meeresboden aus angewiesen ist, von da Wärme abfordert und den Meeresboden zu Volumverminderungen und Senkungen veranlasst, wie sie in solcher Stärke und Ausdehnung zuvor nie geltend gemacht wurden. Es beginnt also nun ein rascheres Tempo der Senkungen und damit auch der Hebungen. Nicht als ob eine neue andere Ordnung der Dinge eingeführt würde; die alten Gesetze der ungleichen Abkühlung walten fort, aber mit grösserer Energie und wachsender, sich steigernder Kraft. Und in gleicher Weise verstärken sich nun auch die Wirkungen, nämlich: die Vertiefung des Meeres und die Erhebung der Kontinente und Hochgebirge. Die Archipele schliessen sich zusammen und werden zu Kontinenten und um die Hauptsenkungsplätze der Meere herum gruppieren sich die Hochgebirge. Auch die Zone, die zwischen ihnen liegt, zwischen den Gebieten der Senkung und Hebung, thut sich in der äusseren Erscheinung hervor; auf ihr gruppieren sich vorzüglich die Vulkane und gibt sich die innere Spannung und Bewegung des Bodens kund in zahlreichen Erdbeben und anderen Erscheinungen.

All das konnte nicht schon in den alten geologischen Perioden geschehen; erst in den jüngsten war die terripetale Entwickelung so weit vorangeschritten, dass sie klimatische Wirkungen hervorrief und die klimatischen Zustände riefen von sich aus wieder geographische Gestaltungen ins Dasein. Ursachen und Wirkungen greifen in verschlungenen Wechselbeziehungen ineinander ein.

Da die entscheidenden Ursachen zu diesen Vorgängen erst in

[1] Das gilt von dem aus süssem Wasser gebildeten Eis. Das Meerwasser gefriert erst bei ca. 3° unter dem Nullpunkt; seine Ansprüche beim Auftauen werden deshalb noch gesteigert; man kann jedoch davon absehen.

sehr jungen geologischen Zeiten eingetreten sind, so sind die geographischen und klimatischen Folgen derselben noch ganz deutlich wahrzunehmen; sie werden auch nicht leicht verwischt werden können, weil kein weiterer physikalischer Vorgang sich denken lässt, der mit so gewaltiger Kraft in die diesbezüglichen bestehenden Verhältnisse eingreifen könnte, als durch das Gefrieren des Wassers zu Eis geschehen ist.

Insbesondere war auch die Quartärzeit trotz ihrer klimatischen Ausschreitungen doch nicht dazu geeigenschaftet, die Spuren der in der Tertiärzeit in das Dasein getretenen vollendeten Thatsachen zu verwischen. Die quartäre Zeit zeichnet sich bekanntlich durch das überraschend weite Vordringen der Gletscher aus. Aber das Eis selbst trat ohne Zweifel nicht erst in der quartären Zeit auf, sondern schon gegen den Schluss der tertiären, deren Klima schliesslich dem heutigen gleich oder ganz ähnlich wurde. Ein prinzipieller Gegensatz besteht daher wohl zwischen dem Ende der Tertiärzeit und der früheren geologischen Periode, aber nicht zwischen dem Schluss der Tertiärzeit und der Quartärzeit. Die gewaltigen Wirkungen, die das Eis hervorbrachte, fallen ebendeshalb schon in die zu Ende gehende Tertiärperiode. In der That lassen die geognostischen Untersuchungen nicht daran zweifeln, dass die Quartärzeit sowohl die Kontinente, als die hohen Gebirge als Erbschaft aus der vorhergehenden Tertiärperiode herüber empfangen hat. Die Zeit der Senkungen auf dem Meeresgrund lässt sich zwar selbstverständlich aus direkten Beobachtungen nicht erkennen; wenn aber zur Tertiärzeit schon ein eisig kalter Strom auf dem Grund des Meeres sich auszubreiten anfing, so mussten notwendig auch die Volumverminderung und Senkung desselben damals sich vollziehen. Durch Senkungen und Hebungen akkommodierte sich dazumal schon die Erdrinde an die neue Ordnung der Dinge; es wurde ein Zustand der Anpassung hergestellt, der zur Quartärzeit nicht mehr verändert wurde. Man kann auch nicht behaupten, dass durch die vergrösserte Masse von Eis, die zur Quartärzeit vorhanden war und auch sicher ins Meer sich ergoss, die Zustände seit der Tertiärperiode eine wesentliche Abänderung erlitten hätten. Den Ausschlag bei den Senkungen gibt die Temperatur der untersten, den Meeresboden direkt berührenden und von ihm Wärme abfordernden Schicht kalten Wassers. Da die grösste Dichtigkeit und Schwere des Meerwassers bei $+0{,}45^0$ vorhanden ist, so wird diese Temperatur die mittlere Durchschnittstemperatur des Wassers unmittelbar am Boden der

tiefsten Meere sein, sowohl für die gegenwärtige Periode, wie für das Ende der Tertiärzeit und kann auch für die Quartärzeit nicht wesentlich höher oder niedriger gewesen sein. Seit der bewegungsvollen Ausgleichung am Ende der Tertiärzeit trat dann die Erdoberfläche wieder in das Stadium der ruhigen säkularen Hebungen und Senkungen zurück, die durch die vulkanischen Erscheinungen nicht beträchtlich beeinflusst werden.

Die Adhémar'sche Theorie darf, wo es sich um Zeitbestimmungen in geologischen Dingen handelt, nicht unberücksichtigt bleiben. Darin liegt ja gerade der bestrickende Reiz, den diese Theorie ausübt, dass dieselbe eine weite Perspektive eröffnet, um nicht bloss in den etwas verwickelten Reigen der geologischen Formationen eine chronologische Ordnung hineinzubringen, sondern sogar die Hoffnung erweckt, positive Ziffern zu liefern, durch welche die Dauer und das Alter derselben schliesslich festgestellt werden könnten. Sie ist in der That die einzige Auffassung, die, auf astronomischer Grundlage ruhend, solche erfreuliche Aussichten eröffnen kann. Um dieses in Aussicht stehenden Vorteils willen ist es nicht bloss begreiflich, sondern aller Anerkennung wert, dass dieser Standpunkt erfasst und nach Kräften festgehalten wurde. Allein die Frage besteht vor wie nach, ob dieser Standpunkt in seinem Prinzip endgültig behauptet werden könne? Nach allem, was wir zuvor schon gesagt haben, ist diese Frage nicht zu bejahen. Insbesondere, wenn es sich herausstellen sollte, dass die Alternation der warmen und kalten Halbperioden der Hemisphären preisgegeben werden müsste, so verlöre diese Theorie auch noch ihren eigentümlichen Reiz; denn ebendamit würde auch die Möglichkeit, absolute Ziffern für die geologischen Perioden zu liefern, hinwegfallen. In die bisherige leidliche Ordnung der geologischen Formationen aber würde durch die Annahme der modifizierten Adhémar'schen Theorie keineswegs eine grössere Ordnung gebracht, sondern eine nicht geringe Verwirrung hereinzubrechen drohen. Paläontologen und Geologen würden sich darauf hingewiesen sehen, ganze Reihen von kalten und warmen Halbperioden auf jeder Erdhälfte auszuscheiden, die aber unter sich wieder nicht gleiche klimatische Verhältnisse darbieten würden, sondern wegen der schwankenden Grösse der Exzentrizität in allen Abstufungen variieren und vielfach ihren Charakter gänzlich einbüssen würden. Über die Frage, ob eine Fauna und Flora einer bestimmten kälteren oder wärmeren Halbperiode angehöre, oder in wie viele solche Zeitabschnitte eine grosse geologische Pe-

riode zerfalle, welche Schichtenkomplexe der einen oder der anderen zuzuschreiben seien etc., würde man sich schwer vereinigen können. Noch weniger aber möchte es gelingen, die paläontologischen Forschungsresultate nun auch noch mit den ganz selbständigen astronomischen Berechnungen über die Exzentrizität nur einigermassen befriedigend in Zusammenklang zu bringen. Zum Beleg hierfür erinnern wir nur daran, dass man die Quartärperiode in Deutschland schon in drei Eiszeiten aufzulösen anfängt und in England und Schottland sich kaum mehr mit sechs Eiszeiten begnügen will, die sämtlich nach der pliocänen Periode erst existiert haben sollen und in einem Schichtenkomplex von nur 86 Fuss Gesamtmächtigkeit sich zu erkennen geben sollen (cf. SCHMICK: Sonne und Mond als Bildner der Erdschale, S. 91).

Rückblick.

In den vorstehenden Kapiteln wurden für eine Reihe von klimatischen, geographischen und geologischen Gegenständen die bestehenden, thatsächlichen Beobachtungsresultate vorgeführt und besprochen und das Ineinandergreifen derselben darzustellen gesucht, um eine empirische Grundlage für die prinzipielle Deutung derselben zu gewinnen. Zum Schlusse mag es auch gestattet sein, den umgekehrten Weg zu versuchen, d. h. die leitenden prinzipiellen Grundsätze aufzustellen und durch Entwickelung derselben zu den der Beobachtung entsprechenden thatsächlichen Zuständen überzuleiten. Als das oberste Prinzip der klimatischen, geographischen und geologischen Entwickelung ist die Abkühlung, und zwar die ungleiche Abkühlung der Erdoberfläche aufzufassen.

Zu jeder Zeit kühlte sich die Oberfläche der Erde an den Polen mehr ab, als unter den Tropen; mag auch eine konstante Wolkenhülle die Abkühlung des allumfassenden Ozeans verlangsamt und bis auf einen gewissen Grad ausgeglichen haben, ganz und gar konnten die Unterschiede der Abkühlung nie verwischt werden.

Nun sinken aber die relativ mehr abgekühlten Wasser wegen ihres grösseren spezifischen Gewichtes auf den Grund des Meeres und an ihre Stelle treten wärmere Wasser, deren Heimat die mittleren Breiten und die Tropen sind. Die mittleren und niederen Breiten aber erhalten wieder Ersatz dadurch, dass die untergesunkenen, relativ am meisten abgekühlten Wasser auf dem Grunde des Meeres denselben und dem Äquator zuströmen. So entsteht eine geschlossene Strömung des Meerwassers zur Ausgleichung des gestörten Gleichgewichts. Aber eine Ungleichheit der Temperatur bleibt vorhanden, wenn dieselbe auch auf der Oberfläche des Wassers teilweise ausgeglichen wird, so besteht ungeschmälert der Unterschied zwischen der Temperatur der Oberfläche und der Unterfläche des Ozeans fort.

Die feste Erdrinde, der Grund des Meeres, ist aber gegen die Vorgänge innerhalb der sie unmittelbar berührenden Wasserhülle nicht unempfindlich. Da, wo die lebhaftesten Strömungen der am meisten abgekühlten Wasser sich auf dem Grunde des Meeres hinziehen, wird auch die Temperatur der Erdrinde selbst am meisten in Mitleidenschaft gezogen, sie wird selbst abgekühlt. Hierdurch wird eine Verminderung ihres Volumens und Erniedrigung des Niveaus derselben hervorgebracht; aber nicht überall gleichmässig, sondern da am meisten, wo die lebhaftesten Strömungen abgekühlten Wassers sich hinbewegen. Das Meer wird hier tiefer, der Druck durch das addierte Gewicht der festen Rinde und des überlagernden tieferen Meeres vermehrt und durch diese Senkungen der Erdrinde in der einen Gegend werden Hebungen in einer anderen hervorgerufen, wo die Strömungen des kälteren Wassers nicht oder weniger sich bewegen. Das allmähliche Auftauchen von Inseln und Archipelen über den Meeresspiegel ist das Resultat und zugleich das äusserlich wahrnehmbare Zeugnis einer schon seit langer Zeit stattgehabten ungleichen Abkühlung in der Tiefe des Meeresgrundes.

Zunächst ist nun der klimatische Einfluss wie der Umfang der einzelnen Inseln und Archipele gegenüber dem immer noch übermässig stark dominierenden Ozean verschwindend oder sehr unbedeutend, um so mehr, wenn eine der ozeanischen Beschaffenheit entsprechende konstante Dunsthülle, zumal in mittleren und hohen Breiten einen starken Schutz gegen Abkühlung der Gewässer auf der Oberfläche gewährte. Die natürliche Warmwasserheizung besteht noch in fast ungeminderter Kraft und bewirkt auf der Oberfläche ein sehr gleichförmiges und zugleich warmes Klima.

Aber es ist doch ein neuer Faktor (Land) eingetreten, der geeignet ist, im Laufe seiner weiteren allmählichen Ausbildung die Ungleichheit der Abkühlung noch mehr zu fördern; denn Wasser und Land halten bei der Abkühlung nicht gleichen Schritt und gehen verschiedene Wege; Unterschiede, welche hauptsächlich für die Organismen, die auf der Oberfläche des Landes leben, von grosser Bedeutung werden. In der Tertiärzeit fangen in der That die Landmassen an, selbst dem Ozean gegenüber ihre spezifischen klimatischen Eigentümlichkeiten geltend zu machen.

Die nivellierende Kraft der Gewässer des Ozeans und zugleich der Dunsthülle wurde durch die Wirkung des Landes geschwächt und in hohen Breiten geben sich die anfangenden Spuren von Temperaturschwankungen und Temperaturabnahmen zu erkennen; die

klimatischen Zonen scheiden sich langsam aus und die Wirkungen einer niedrigen Temperatur in hohen Breiten, des Frostes, während eines Teiles des Jahres werden sichtbar in dem abfallenden Laub der Bäume und in dem Haarkleid der Säugetiere. Freilich bewegt sich die Schwankung der Temperatur noch in sehr mässigen Schranken und berührt mehr nur die Oberfläche des Landes, als dass sie in die Tiefe eindringt.

Nur in einem Falle vorzüglich ist auf diesem Wege der ungleichen Abkühlung eine tiefere und raschere Einwirkung zu erwarten, wenn nämlich der Frost, der vom Lande ausgeht, sich von seinen Ufern aus auch auf das benachbarte Meer hinaus erstrecken konnte. Wenn die Buchten eines Meeres vom Land aus in grösserer Erstreckung auf längere Zeit und somit auch in grösserer Mächtigkeit sich mit Eis bedeckten, so wirkte die Kälte mittelbar auf das Meer ein, weniger durch das Zufrieren, als durch die Auftauung des Eises. Das Eis bewegte sich hinaus in das offene Meer, schmolz dort ab und sandte beträchtliche Massen kalten Wassers auf den Grund des Meeres hinab.

Auf der Erde befindet sich nur ein Punkt, eine Gegend, welche einen entschiedenen Vorsprung vor allen anderen voraus hatte, um solche Wirkungen in die Wirklichkeit treten zu lassen. Das ist jener Archipel, der sich in der sehr wichtigen Lage zentral um den Südpol herum aufgebaut hatte und selbst vor dem im Nordpolarkreis befindlichen Land hauptsächlich die zentrale Lage voraus hat. Hier, in den antarktischen Gegenden, wird deshalb auch die Ursache und der Schlüssel zum Verständnis einer Reihe von wichtigen Erscheinungen liegen. Der Wirkungskreis der Südhalbkugel wird dadurch nach verschiedenen Seiten hin der umfassendere.

Als die erste und zugleich unmittelbarste Wirkung, die von dem antarktischen Archipel ausgeht, ist das auffallende Klima der Südhalbkugel zu verzeichnen. Ältere und neue Temperaturbeobachtungen lassen gar keinen Zweifel darüber, dass die Ursache der niedrigen Temperatur derselben nicht etwa in einem Mindermass der empfangenen Wärme durch die Sonne bestehe, sondern in greifbarer Weise innerhalb des Polarkreises der Südhemisphäre selbst liegen müsse. Es ist der antarktische Archipel, der mit Hilfe der Eisverbindung sich zu einem Kontinente gestaltet hat und durch seine gewaltigen Kälteprodukte die Temperatur der gesamten Halbkugel zu beeinflussen vermag.

Dieser Einfluss äussert sich aber, seit der Tertiärzeit vorzüglich, nicht bloss in der Temperatur, sondern die eisigen Kaltwasserströme

riefen auf dem Meeresgrunde entsprechende stärkere Senkungen hervor, so dass die südliche Halbkugel in grösserem Umfang und im Durchschnitt auch in bedeutenderer Tiefe vom Meere bedeckt wurde, als die nördliche. Anderseits stellen sich jetzt als Korrelat der Senkungen korrespondierende Hebungen ein, nämlich umfangreichere Archipele, die sich dann mehr und mehr zu Kontinenten zusammenschliessen, deren Ränder zugleich durch eine dem Meere zugewandte Zone von Hochgebirgen markiert werden, während weiter einwärts, gegen das meerische Gebiet, noch eine zweite Zone von Vulkanen sich vorlegt als mittlere Zone zwischen den Gebieten der Senkung und Hebung. Es ist ein überraschendes Ergebnis, dass das Gewicht der Massen des Meeres und der Erdfesten (im erweiterten Sinne Krümmel's) sich nahezu das Gleichgewicht hält. Auch die Form der grossen Landmassen, die gegen Süd schmal, gegen Nord breit auslaufen, ist bedeutungsvoll und lässt sich unter den gleichen Gesichtspunkt unterbringen.

Weil nämlich, um der stärkeren Senkung des Meeresgrundes der südlichen Hemisphäre willen, hier die grössere Meerestiefe sich vorfindet, so verlieren hier die Landmassen an Ausbreitung in gleichem Masse, als das Meer sich ausdehnt. Auf der nördlichen Halbkugel aber sind die Gewässer seichter, wodurch der Ausbreitung der Landmassen daselbst Vorschub geleistet wird. Wo das Meer sich breit macht, muss das Land schmal werden und umgekehrt.

Ob die erhöhten Ränder der Kontinente in der Form von gefalteten Gebirgen oder von Tafelgebirgen von sehr verschiedener Höhe sich darstellen, wurde abhängig gemacht von der Gestalt der Umrisse der gehobenen Schollen, deren Hebung jedenfalls nur langsam erfolgte, besonders bei den Faltungsgebirgen. Die Vorgänge der Senkung können mit einem bündigen Ausdrucke als Zusammenbruch der Lithosphäre (Suess) bezeichnet werden. Aber es ist ein Zusammenbrechen nicht ins Leere, sondern in das Volle; deshalb sind mit den Senkungen zugleich Hebungen unzertrennlich verbunden. Dieser Antagonismus der Senkungen und Hebungen geht zwar immer noch fort und macht sich an geeigneten Orten fühlbar, besitzt aber nicht mehr jene uranfängliche Energie, welche ihm beim ersten Auftreten der Kälteprodukte (Eis und Schnee) und der ersten Wärmeabforderung durch das Schmelzen derselben verliehen wurde. Erosion, Verwitterung und Einschwemmung von Sinkstoffen in die Meere tragen dazu bei, die Folgen der Senkungen und Hebungen auch ihrerseits zu mildern und teilweise zu verwischen.

Nachdem nun die Verteilung von Land und Meer und Gebirgen in ihren grossen Zügen am Ende der Tertiärzeit festgestellt war, fiel den letzteren, jenen Gebirgen, welche die Schneelinie ihrer geographischen Breite erreichten und überragten, eine eigentümliche und wichtige Rolle zu.

Dass die Gebirge nicht in jenem stark zerstückelten Zustande, den sie jetzt allerorts mehr oder weniger zeigen, entstanden sind, dass insbesondere die Querthäler erst nachträglich erodiert wurden und Zeiträume erforderlich waren, um dieselben vom Fusse des Gebirges soweit nach innen und nach oben zu verlängern, dass dieselben die Zentralketten erreichten, ist kaum mehr anfechtbar. Indessen, bevor die Querthäler fertig waren, mussten die Schneemassen, die alljährlich über der Schneelinie niederfielen, sich auf den Höhen der Gebirge ansammeln und die Ausdehnung des ewigen Schnees gewann dadurch weiteren Raum nach unten und nach oben. Das ist der Beginn der Eiszeit. Nachdem dann durch Erosion die äusseren niedrigeren Ketten durchbrochen, die Wege gegen die Zentralkette geöffnet waren, setzten sich die Schneemassen auf diesen Wegen in Bewegung nach der Niederung zu, wodurch letztere mit Gletschermaterial überschüttet wurde. Man könnte dies den Höhepunkt der Eiszeit nennen. Aber schliesslich überwältigte die einheimische Wärme der Niederung die ihr aufgeladenen Eismassen; die Gletscher schmelzen zurück und lassen nur die Gesteine der Moränen in der Niederung liegen, als unverkennbare Zeichen ihrer ehemaligen Anwesenheit. An die Stelle der Eiszeit tritt nun ein gemässigtes Klima, das von der geographischen Breite und von der Meereshöhe bedingt wird, aber auch noch anderen Einflüssen unterliegt, besonders den Wirkungen einer mehr kontinentalen oder mehr maritimen Lage.







